



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**REPORTE DE ACTIVIDADES PROFESIONALES
EN LA EMPRESA
SIEMENS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA MECATRÓNICA**

**PRESENTA:
EMMA ELBA DÍAZ RUIZ**

**ASESOR:
DR. JESÚS MANUEL DORADOR GONZÁLEZ**



MÉXICO D.F.

OCTUBRE 2015

Contenido

1. Introducción	2
2. Objetivo	2
3. Descripción del medio profesional.....	2
2.1 Antecedentes de la organización	2
2.2 Descripción del puesto de trabajo.....	5
4. Antecedentes	12
5. Definición del problema	14
5.1 Subestaciones eléctricas SE-11A y SE-11A-1	15
5.2 Torre de Enfriamiento TE-08	18
5.3 SPPA T-3000	20
6. Metodología utilizada	28
6.1 Apertura de Proyecto	31
6.2 Planificación Detallada	31
6.2.1 Protocolo de comunicación IEC61850	31
6.2.2 Nomenclatura KKS.....	44
6.2.3 Protocolo de Comunicación Modbus.....	46
6.2.4 Funcionalidad SECA.....	47
6.2.5 Descripción general de las actividades realizadas durante la fase de Ingeniería	48
7. Resultados.....	52

1. Introducción

El presente reporte ofrece una descripción de las actividades realizadas durante la ejecución de un proyecto de Ingeniería para la empresa alemana Siemens, desde la posición de Ingeniero de Proyectos para el Sector Energía de dicha empresa.

El departamento en el que desempeño ésta labor es el Centro de Competencias del departamento dedicado a la Instrumentación y Control para la Generación de Energía y Gas (PG I E), donde se ejecutan soluciones, basadas en productos como el Sistema de Control Avanzado para Automatización de Plantas de Generación de Energía SPPA-T3000, el cual es mi especialidad.

Dada la naturaleza del proyecto y el rol adoptado, la asignación tuvo varias etapas: desde el involucramiento temprano en manejo de riesgos, manejo de contrato, diseño conceptual, diseño de detalle y compras, hasta la supervisión de montaje para las pruebas de aceptación de fábrica, además de la gestión de la calidad en todas las etapas.

2. Objetivo

El objetivo es realizar la ingeniería básica y de detalle, así como conseguir la aceptación en pruebas de fábrica de un proyecto de instrumentación y control para una planta nueva de Gasolinas Limpias en el puerto de Salina Cruz, cuyas características exigen la integración de diversos protocolos de comunicación y la intervención, tanto de equipos auxiliares de proceso, como de sistemas de distribución eléctrica inteligente.

3. Descripción del medio profesional

2.1 Antecedentes de la organización

El 12 de Octubre 1847, Werner Von Siemens y Johan Georg Halske fundaron la compañía de fabricación de telégrafos *Siemens & Halske* en la ciudad de Berlin. A través de ella, se lograron grandes innovaciones de su tiempo, como la primera línea telegráfica a larga distancia entre Europa y las Indias (1870), el descubrimiento del principio electrodinámico (1866), la primera vía de tren eléctrica con fuente externa (1879) y el primer sistema de tranvías en China (1899)¹.

En 1966, después de que *Siemens & Halske* se fusionara con la empresa del ramo eléctrico *Schuckert & Co*, se conforma lo que hasta hoy en día se conoce como Siemens

AG (*Siemens Aktiengesellschaft*)ⁱ, una empresa con gran peso en la bolsa de valores de la Unión Europea y reconocida internacionalmente por sus constantes contribuciones a la innovación tecnológica.

En México, Siemens ingresó en 1894 ganando contratos para ejecutar tres proyectos con relación a la industria eléctrica: el sistema de iluminación del Paseo de la Reforma, la construcción de la Central Termoeléctrica de Nonoalco y de la hidroeléctrica Necaxaⁱⁱ.

Durante el siglo XX, Siemens continuó expandiendo sus actividades desde México hacia el resto de América Latina con proyectos de líneas de ferrocarriles y sistemas telefónicos. Hoy en día, cuenta con oficinas en México, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Panamá y República Dominicana.

“Nuestra visión es ser pioneros en eficiencia energética, productividad industrial, cuidado de la salud, y soluciones inteligentes para la infraestructura”ⁱⁱⁱ

Actualmente la empresa divide sus actividades en las siguientes unidades de negocio:

- Power and Gas
- Wind Power and Renewables
- Power Generation Services
- Energy Management
- Building Technologies
- Mobility
- Digital Factory
- Process Industries and Drives
- Healthcare
- Financial Services

En la siguiente imagen se muestra Werner Von Siemens, el fundador de la empresa en Alemania y la persona de quien tomó su nombre hace 120 años. En la segunda imagen se muestran las primeras instalaciones de la Central Hidroeléctrica de Necaxa y sus trabajadores, para contextualizar la historia y el alcance de Siemens en México.



Figura 1 Werner Von Siemensⁱ



Figura 2 Central Hidroeléctrica de Necaxaⁱ

El Portafolio de productos para la División de Power and Gas es el siguiente

- Productos: Turbinas de gas, turbinas de vapor (primera imagen, de izquierda a derecha), generadores (cuarta imagen), tecnología gasificadora, compresores
- Soluciones: Soluciones para plantas de generación de energía por turbina de gas, CCPP, plantas de generación de energía de ciclo combinado con solar integrada, ciclo combinado con gasificación integrada, energía y calor combinados (tercera imagen)
- Instrumentación, Controles y Eléctrico: Soluciones de I&C, eléctrico e IT para todos los tipos de generación de energía (segunda imagen).^{iv}



Figura 3 Portafolio de Power and Gas^{iv}

En la actualidad Siemens es líder en el mercado para los siguientes productos de Power and Gas:

- Turbinas de vapor industriales
- Plantas de aerogeneradores en altamar
- Conexiones de red eléctrica en el mar
- Serie de turbinas de gas avanzada
- Sistemas de control para plantas de generación de energía
- Transmisión de Corriente Directa de Alto Voltaje^v

Los proyectos notables en México de éste año incluyen:

- Dos turbinas en la planta de CFE en Hidalgo, que generarán 550MW, para abastecer a 300, 000 hogares y permitirá reducir las emisiones en un 12% y producir electricidad de forma más económica^v.
- Proyecto de CFE para reducción de pérdidas de energía, que incluye 250, 522 nuevos medidores y más de 8,000 transformadores, un contrato por 139.87 millones de dólares para partes del Estado de México y el Distrito Federal

Hablando particularmente de Sistemas de Control Distribuido para la Industria de Generación de Energía, en la siguiente gráfica se puede observar la porción de mercado de Siemens respecto a su competencia, en porcentajes.

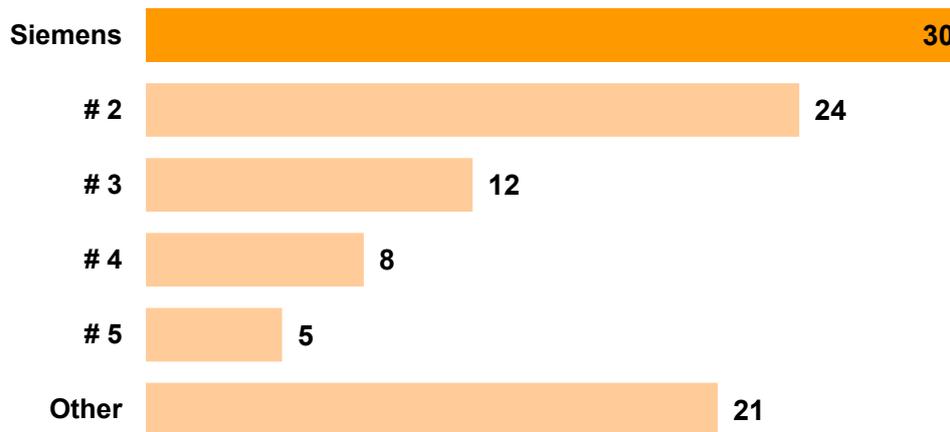


Figura 4 Porciones de mercado para los proveedores líderes de la Industria de generación de energía

Fuente: Grupo Consultor ARC: Análisis de Mercado con Perspectiva Mundial en Sistemas de Control Distribuido y Pronóstico hacia 2016^v

2.2 Descripción del puesto de trabajo

Como Ingeniera de Proyectos, mi puesto de trabajo en Siemens tiene la siguiente descripción:

“Participa en especificación material semi-compleja, preparación y seguimiento adecuado. Recomienda en diseño semi-complejo, desarrollo, pruebas y modificación de soluciones. Participa en preparar explicaciones y aclara información para habilitar una apropiada interpretación y evaluación de especificaciones semi-complejas, características de operación y otros datos técnicos. Participa en comunicar asuntos técnicos y comerciales semi-complejos. Puede participar en recomendar nuevos diseños, nuevos procesos o cambios en diseños semi-complejos para cumplir con requerimientos.

Desempeña, de manera independiente, áreas importantes de trabajo de nivel profesional que típicamente requieren procesar e interpretar asuntos más complejos, menormente definidos. Enruta problemas semi-complejos, inusuales a otros. Identifica y resuelve problemas fácilmente identificables, claramente definidos.

Para lo que se definen los siguientes requerimientos de Educación / Conocimiento / Experiencia:

Licenciatura en una disciplina relacionada o un postgrado, cuando se requiera, o la combinación equivalente de formación académica y experiencia. Se podría requerir certificación en algunas áreas.

Demuestra una buena comprensión de los conocimientos y principios del campo de especialización y los aplica a través de la terminación exitosa de sus asignaciones. Aplica exitosamente su conocimiento de conceptos, prácticas y procedimientos fundamentales de su área particular de especialización.

Típicamente de 2 a 5 años de experiencia exitosa en un campo relacionado y la demostración exitosa de las Responsabilidades y Conocimientos Clave que se presentaron anteriormente. El postgrado puede sustituirse por experiencia, donde sea aplicable.¹

Como se puede ver en la siguiente figura, México es uno de los países sede donde se ofrece servicio e ingeniería para Sistemas de Control Distribuido. Mis actividades las desempeño como parte del Centro de Competencias, que son centros en donde se concentra el know-how de Siemens para diseñar e implementar las soluciones particulares del cliente. En rojo, se muestran los centros de investigación y desarrollo.

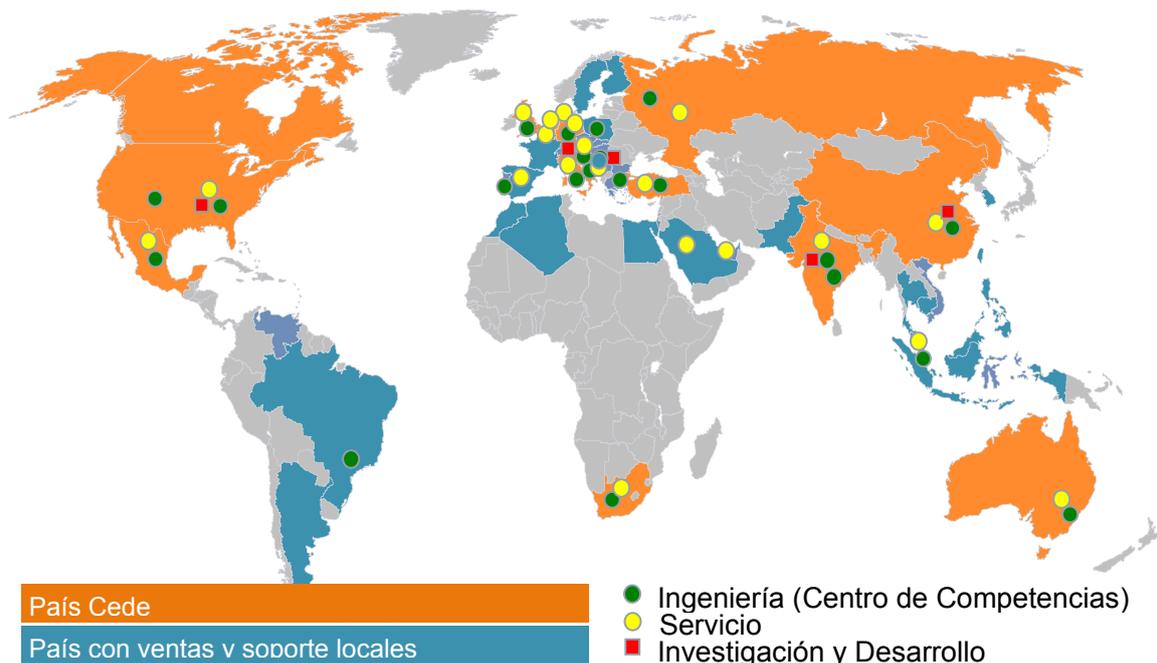


Figura 5 Local para el cliente y global en capacidades y recursos^v

Mi área de especialidad, en particular es la ingeniería e implementación de soluciones de automatización para la generación de energía, basadas en el Sistema de Control

¹ Tomado de la descripción del departamento Human Resources & Talent Acquisition de la empresa

Avanzado SPPA T-3000. Dicho sistema ha sido diseñado para realizar todas las tareas de automatización de la planta de generación: control de turbina, control de caldera incluyendo la protección de la misma, balance de planta (BoP) y la integración de sistemas de terceros^{vi}.

El Ingeniero de Proyecto en ésta área, cuenta además con un rol particular dentro del proyecto, que consiste en la especialidad que ha desarrollado con la experiencia dentro de la ejecución de los mismos. Actualmente, mi rol es Líder de Proyectos.

A continuación, la descripción detallada de mi rol, con desglose de responsabilidades, competencias y experiencia requerida. Esta información fue proporcionada especialmente por el departamento encargado de gestionar los recursos humanos particulares de mi área de especialidad.

Nombre de la función	Líder de Proyecto (PL)		
Área Funcional	Gestión de Proyectos		
Campo Operacional	Internacional		
Misión de la Función	Responsabilidad sobre la gestión de uno o más subproyectos de I&C asignados (campos funcionales) en plantas de generación de energía). Asegurar el éxito financiero de los subproyectos asignados, tomando en cuenta (u optimizando) los requerimientos normativos y técnicos, así como los especiales		
Dimensiones % del trabajo total	Indicadores en línea con los objetivos acordados: los puntos focales son los costos, las fechas de entrega, las órdenes suplementarias, Fuente de LCC, CIP, satisfacción del cliente, número de empleados, cultivar el conocimiento de los empleados asignados		
Contratos (internos/externos)	INTERNOS: Equipo de Proyecto, Gerente del CoC, Gerente de Contrato, Facilitador de Procesos, Gerente de recursos, compras, gerencia de producto, QM	EXTERNOS: Clientes, consultores, autoridades, asociados/clientes en alianza corporativa, proveedores, personal externo	
Áreas de Responsabilidad			
Tipo	Qué – Cómo – Por qué	Responsabilidad	Criterios de medición
Técnico	Implementación técnica del proyecto, incluyendo: <ul style="list-style-type: none"> - Identificación de los requerimientos de seguridad para la instalación y el país - Definir los procesos V&V específicos del Proyecto - Definir los requerimientos de calificaciones - Esbozar las descripciones de calidad y proceso - Generar los conceptos de ingeniería eléctrica/I&C - Aclaraciones técnicas, juntas de sistemas - Generar especificaciones/paquetes para compras y Fuentes LCC - Realizar revisiones a los resultados de trabajo (interno/externo) y derivar medidas correctivas de ser necesarias - Realización de SW y HW - Entrenamiento del personal del cliente - Puesta en servicio de los conceptos que se realizaron 	Completa	Adherencia al plan (fechas de entrega, ventas, procesos prescritos)

Negocio	<p>Planeación, control y reporte de subproyectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Planeación de subproyectos, incluyendo fechas límite, costos, recursos con base en el contrato, - Planeación de interfaces entre socios (proveedores, puntos comprados, etc.) - Monitoreo regular de las no conformidades del subproyecto (costos, fechas límite, calidad) y medidas apropiadas para corregir - Asistencia regular con reporte: interno de Proyecto (juntas de Proyecto), externo de proyectos (estado a la gerencia del CoC), estado de cliente 	Completa	Adherencia al plan (procesos, certificados, ventas)
Recursos Humanos	<p>Liderazgo profesional:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Liderazgo profesional del equipo de subproyecto - Integración y fomento del conocimiento de nuevos empleados, - Apoyo en evaluación del desempeño de empleados (donde corresponda: logro de metas), - Coaching de los empleados de subproyecto 	Completa	Satisfacción de empleado, diálogo EFA
Negocio	<p>Reclamos y gestión de contrato en cooperación con el PM:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Análisis del contrato en términos de riesgos, oportunidades, potencial de reclamaciones y posibles órdenes adicionales - Monitoreo permanente del Proyecto en términos de no conformidades contractuales e implementar medidas apropiadas - Cultivación de potenciales actividades de negocio adicionales - Afirmar exitosamente requerimientos adicionales y contrarrestar reclamaciones 	Parcial	NCCs, Ordenes de Cambio
Negocio	<p>Gestión de la calidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Resolver la aplicación de estándares, herramientas y métodos prescritos (QMS, SILK, AmB, Tec4,...) - Canalizar el flujo de experiencia a socios internos (por ej. Gerentes de Proyecto, Facilitadores de Proyectos) 	Completa	NCCs, productividad

	- Implementación continua y cuando corresponda, adaptación de flujos de trabajo eficientes y procesos basados en metodología especificada - Iniciar sugerencias 3i		
Competencias			
	Título de la competencia	Nivel	
	Proceso de Gestión de Proyectos (Resumen)	Avanzado	
	Gestión de Seguridad Funcional	Avanzado	
	Experiencia con proyectos de energía fósil	Avanzado	
	Conceptos de I&C en general	Básico	
	Instrumentación de campo	Básico	
	Control de lazo abierto	Avanzado	
	Control de lazo cerrado	Avanzado	
	Tecnología de análisis	Básico	
	Control de Accionamientos, Válvulas	Básico	
	Layout de cubículos	Básico	
	Pruebas	Avanzado	
	Puesta en servicio de I&C (en frío)	Avanzado	
	Puesta en servicio – prueba de lazos	Básico	
	Puesta en servicio de Tecnología de Proceso	Básico	
	EHS	Básico	
	Calidad en el Proceso de Ejecución de Proyectos	Avanzado	
	Ingeniería de Seguridad Funcional	Avanzado	
	Tecnología de Proceso en Planta de Generación de Energía	Avanzado	
	Tecnología Eléctrica	Básico	
	Aplicación de Herramientas	Avanzado	
	Idioma inglés	Avanzado	
	Idioma Aleman	Avanzado	
Esencial (hoy y en el futuro)			
Experiencia profesional Variedad de Negocio	Negocio de Proyecto/planta	- Experiencia en el campo de planeación, ingeniería, montaje en campo y puesta en servicio de SW y HW	

Experiencia en proyectos Áreas de función	Proyectos	<ul style="list-style-type: none"> - Experiencia como empleado o líder de subproyecto en proyectos de I&C para plantas de generación de energía por quema de combustibles fósiles - Experiencia de construcción en sitio
Experiencia de liderazgo Tipos de función	Gestión especialista	<ul style="list-style-type: none"> - Experiencia de liderazgo especialista (por ej. Como gerente de subproyecto o como planificador especialista o en otros campos)
	Liderazgo de equipo	
Experiencia intercultural Variedad de Culturas	Cooperación en equipos internacionales	<ul style="list-style-type: none"> - Cooperación exitosa en equipos con carácter internacional, - Experiencia internacional en forma de una estancia extendida o empleo fuera del país, deseable

4. Antecedentes

El proyecto del que trata el presente reporte, se realizó para la Refinería Antonio Dovalí Jaime en Salina Cruz, Oaxaca.

Dicha refinería ocupa una superficie total de 600 hectáreas localizadas a cinco kilómetros al noreste de la ciudad y Puerto de Salina Cruz, Oaxaca. A partir de la puesta en operación de la Refinería Ing. Antonio Dovalí Jaime, ésta ha registrado un constante crecimiento que la ubica como la más grande del sistema petrolero de refinación en el contexto nacional, con capacidad para procesar 330,000 BDP de crudo.^{vii}

En la siguiente figura se muestra una unidad de la Refinería de la ciudad y puerto de Salina Cruz, Oaxaca (la planta de proceso).



Figura 6 Refinería Antonio Dovalí Jaime (Libro Blanco, pag 157)^{viii}

Dentro del conglomerado de plantas que integran la refinería, se cuenta con dos plantas de fuerza (generación de energía), que actualmente funcionan con el Sistema de control SPPA-T3000. En la Figura 7 se puede observar un cuarto de control con Sistema de Control Centralizado.

Dentro de los planes de desarrollo de PEMEX-Refinación, se contemplaba la producción de Gasolina con bajo contenido de azufre (10 ppm en peso) para cumplir con la Norma Oficial Mexicana NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 30 de enero de 2006.^{ix}

En 2009, Petróleos Mexicanos convocó, a través de la Dirección Corporativa de Ingeniería y Desarrollo de Proyectos, a empresas nacionales y extranjeras a participar en el “desarrollo de la ingeniería, procura y construcción de las plantas desulfuradoras de gasolina catalítica, unidades regeneradoras de amina, sistemas complementarios, instalaciones de servicios auxiliares, y su integración para las refinerías Ing. Antonio Dovalí Jaime, en Salina Cruz, Oaxaca y General Lázaro Cárdenas en Minatitlán, Veracruz”^x para cumplir con el objetivo de reducir las emisiones de compuestos de azufre a la atmósfera.

Participaron en la licitación pública internacional del paquete de 3 combustibles limpios en ambas refinerías, los consorcios: *Technip Italy / Technip de México / Isolux Ingeniería / Isolux de México; Saipem/ Saigut; ICA Fluor Daniel; ACS Servicios, Comunicaciones y Energía México / Dragados Industrial / ACS Servicios, Comunicaciones y Energía / Senermex Ingeniería y sistemas y ABB/ ARB Arendal / Worley Parsons México Ingeniería.*

Dichos contratos fueron ganados por la empresa ICA Fluor Daniel. El contrato para Salina Cruz ascendió a 126 millones de pesos (mp) a precios unitarios.^{xi}

Siemens participó como contratista de ICA Fluor para la integración de las nuevas plantas al sistema existente de la refinería, es decir, al Sistema de Control Operacional Avanzado (SCOA) y al Sistema de Control Distribuido (SCD), previamente instalado por Siemens en las plantas de fuerza de Salina Cruz.

En ese momento fui asignada al proyecto de integración al SCOA y SCD como Ingeniera de Proyecto.

Los sistemas de control instalados son similares a la imagen que se muestra a continuación, en donde el operador tiene pantallas disponibles donde se muestran desplegados de planta, parámetros, alarmas y los trabajadores monitorean, operan y analizan los procesos gracias a las indicaciones que se despliegan en tiempo real. Al mismo tiempo, el sistema muestra cómo está funcionando el control automático y generando reportes de estado, así como estadísticas de generación, entre otras funciones.



Figura 7 Ejemplo de Cuarto de Control Pemex (Libro Blanco, pag. 114)^{viii}

5. Definición del problema

El Proyecto abarcó la integración de indicaciones y comandos de las subestaciones eléctricas SE-11A y SE-11A-1 de las plantas URA1, URA2 (Unidades Regeneradoras de Amina) y ULSG1 y ULSG2 (Plantas Desulfuradoras de Gasolina Catalítica), y de dos interruptores en el bus de 13.8kV al SCOA (Sistema de Control Operacional Avanzado) existente, así como la integración del control de la Torre de Enfriamiento número 8 al SCD (Sistema de Control Distribuido) existente en el Sistema SPPA-T3000 de la refinería Ing. Antonio Dovalí Jaime de la ciudad y Puerto de Salina Cruz, Oaxaca.

Para ejemplificar las instalaciones de distribución de energía en subestaciones, a continuación se muestra la imagen de una subestación. A la izquierda de la imagen, tableros de interruptores y a la derecha, el centro de control de motores. En la subestación, generalmente hay un diagrama unifilar para mostrar qué porción ocupa la misma en la distribución de energía en la planta de fuerza a la que pertenece.



Figura 8 Ejemplo de Subestación Eléctrica en Tabasco^{xii}

En la siguiente figura se muestra una de las Torres de Enfriamiento de la refinería de Salina Cruz.



Figura 9 Torre de Enfriamiento Salina Cruz^{xiii}

5.1 Subestaciones eléctricas SE-11A y SE-11A-1

Con el incremento de demanda en la generación de energía, adquiere mayor importancia la confiabilidad en los sistemas de distribución de energía, cuyos sistemas de protección y control anteriormente estaban diseñados con lógica de relevadores. Ahora, con la comunicación digital y el desarrollo de sistemas SCADA y SCD, se han instalado sistemas

de adquisición de datos importantes para la protección del sistema de distribución, tales como corrientes, voltajes, fallas y también controles para la operación de los relevadores. Sin embargo, la instalación requerida para la operación y visualización remota de estos dispositivos era más costosa antes del desarrollo de Dispositivos Electrónicos Inteligentes y la posibilidad de transmisión de alta velocidad por Fibra Óptica y redes de comunicación.

En los sistemas más avanzados, se promueve la integración entre los sistemas de protección propios de una planta de generación de energía, con los sistemas de automatización de subestación. Esto se ha logrado con los avances en comunicación para subestaciones, que hace intercambios de datos de medición, información de estado y comandos de control para ejercer las funciones comunes a la automatización, como switcheo entre equipos, bloqueos de protección y coordinación de controles.

El protocolo IEC61850 permitió la integración de Dispositivos Inteligentes de diferentes proveedores en un estándar unificado de operación y comunicación, facilitando la automatización de subestaciones.

Para la integración de las subestaciones eléctricas SE-11A y SE-11A-1, así como de los interruptores de 13.8kV y 4.16kV, el alcance del presente proyecto fue la comunicación del Sistema SPPA-T3000 con relevadores de protección de diferentes marcas, a través del protocolo de comunicación IEC61850 y su visualización en el HMI (Human-Machine Interface), así como la integración de los interruptores principales al algoritmo del Sistema de Segregación de Cargas (SECA).

El sistema eléctrico y la distribución de las cargas están diseñados para entregar amplia disponibilidad a los procesos en la refinería. Más aún, para asegurar la calidad de la energía entregada, los relevadores de protección originan el retiro rápido del servicio del elemento cuando éste sufre un cortocircuito o cuando empieza a funcionar en cualquier forma anormal que pueda originar el daño.^{xiv}

En la figura se muestra la arquitectura eléctrica a través de un diagrama unifilar simple. En él, se indica el nivel de tensión que maneja el bus principal (13.2 kV en este caso) y la transformación hacia un bus de tensión baja, de donde se están alimentando las cargas individuales, es decir los equipos como motores, bombas, ventiladores, interruptores.

5.2 Torre de Enfriamiento TE-08

Para el caso de la Torre de Enfriamiento, el alcance consistía en la integración del control de los componentes, tanto de la Torre de Enfriamiento como del Sistema de Dosificación de Químicos de la misma al SCD y la comunicación por protocolo Modbus del Sistema SPPA T-3000 con equipos paquete: SFI's, tableros contra incendio, tableros de corrosión y filtro de arena.

El agua es uno de los medios más efectivos para transferencia y remoción de calor. Las torres de enfriamiento son equipos que se emplean para enfriar agua en grandes volúmenes, siendo el medio más económico para hacerlo, si se compara con otros equipos de enfriamiento como los intercambiadores de calor donde el enfriamiento ocurre a través de la pared.

Existen distintos tipos de torres de enfriamiento. Las hay para la producción de agua de proceso que sólo se puede utilizar una vez, antes de su descarga. También hay torres de enfriamiento de agua que puede reutilizarse en el proceso.

En el sistema descrito, el agua es generalmente reutilizada para el proceso, formando un circuito cerrado de circulación de agua y formación de vapor con la turbina y la caldera.

Los principales dispositivos para quitar calor del agua son unos ventiladores grandes que generan flujo de aire en las torres de enfriamiento. Cada célula de una torre de enfriamiento tiene uno o dos de éstos ventiladores. Debido a que éstos son costosos, las refinerías prefieren tener un monitoreo de sus variables críticas, como la vibración en el motor y mediciones de temperatura.

Cuando el agua es reutilizada, se bombea a través de la instalación en la torre de enfriamiento. Después de que el agua se enfría, se reintroduce como agua de proceso. El agua que tiene que enfriarse generalmente tiene temperaturas entre 40 y 60°C.

El agua se bombea a la parte superior de la torre de enfriamiento y de ahí fluye hacia abajo a través de tubos de plástico o madera. Esto genera la formación de gotas. Cuando el agua fluye hacia abajo, emite calor que se mezcla con el aire de arriba, provocando un enfriamiento de 10 a 20° C.^{xvi}

El agua utilizada de ésta manera, también se lleva ciertos contaminantes que se comportan de cierta forma a diferentes niveles de temperatura, es decir se cristalizan y se precipitan, lo cual genera depósitos de sarro –que restringe el flujo de agua-, contaminación con agentes biológicos –que cubren las superficies intercambiadoras de calor y conllevan riesgos sanitarios- y corrosión –que daña las bombas, los ductos y las válvulas-. Esto resulta en una pérdida de eficiencia en la transferencia de calor y crecimiento de microorganismos. Es por eso que se hace necesario un sistema de

tratamiento de agua que “suavice” el agua (remoción de minerales) y que la trate químicamente para prevenir crecimientos microbiológicos.

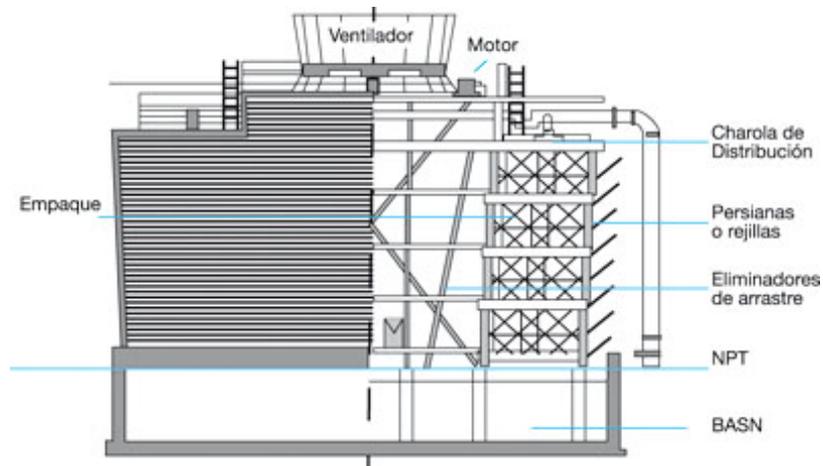


Figura 12 Componentes de una Torre de Enfriamiento^{xviii}

De acuerdo con el Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios, “el tratamiento químico del agua para torres de enfriamiento, tiene la finalidad de prevenir y controlar los efectos en las líneas y equipos de intercambio de calor”... “Para conseguir lo anterior, se emplea un tratamiento que incluye inhibidores de corrosión e incrustación, así como dispersantes de sólidos suspendidos y biocidas entre otros; que se dosifican según el análisis del agua y la evaluación con testigos y probetas corrosimétricas que se instalan en el sistema de enfriamiento” (NRF-206-PEMEX-2014, pag. 4).^{xvii} Además se utilizan filtros de ósmosis reversa para prevenir los depósitos de minerales, los cuales son altamente abrasivos.

Los analizadores de pH son importantes porque, a menor pH, mayor acidez del agua, lo cual es altamente corrosivo. Para neutralizar dicha acidez, los inhibidores de corrosión contienen inhibidores de fosfatos.

En otros métodos de tratamiento de agua, en lugar de los inhibidores de corrosión para las torres de enfriamiento abiertas, se utiliza el desgasificador o deaerador, que retira oxígeno del agua.

En general, el diseño de tratamiento de agua depende del análisis de la fuente de agua que se utiliza en el proceso, un estudio químico y físico de la misma y un análisis económico para obtener el método más eficiente y hecho a la medida.

5.3 SPPA T-3000

El sistema SPPA T-3000 (Siemens Power Plant Automation) es un software de automatización especializado para plantas de generación de energía, propiedad de Siemens.



Figura 13 Instrumentación y Controles. Aquí es a donde van todas las señales^v

Un sistema de automatización, tiene en general las siguientes funciones^{xviii}:

- Medición de estados del sistema de generación de energía
- Medición de datos de transmisores de temperatura, presión, etc.
- Estados de equipos
- Estados de alarma de dispositivos
- Disparos y comandos de cierre
- Control supervisado de equipos primarios
- Secuencias de relevo de equipos
- Secuencias de relevo seguras para prevenir daños de equipo primario o fallas operacionales
- Control lógico

Para aclarar las diferencias entre la solución Siemens para automatización de la planta y otros sistemas de control para plantas industriales, repasaremos algunas definiciones.

Primero, un sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) es un sistema computacional diseñado para recolectar, analizar y monitorear datos en tiempo real. La particularidad de éstos sistemas es que tienen inteligencia distribuida, es decir que las unidades sistémicas de un SCADA son independientes (permanecen funcionando, aún a falla de comunicación) en cuanto a la base de datos sobre la que trabajan y pueden estar geográficamente alejadas entre sí. La funcionalidad de un sistema SCADA está orientada

a la adquisición de datos, no al control del proceso, por lo que el control supervisorio es ejercido por el ser humano y los cambios en el automatismo se disparan al detectar una eventualidad, por lo que puede operar independientemente del operador, con base en eventualidades.

Un sistema DCS (Distributed Control System) es un sistema de control de proceso que está distribuido en un área geográficamente limitada (en una sola planta). Sus operaciones son centralizadas y controladas por un maestro de manera secuenciada, con base en los datos de proceso que obtiene en tiempo real, por ende no requiere la intervención del operador para realizar sus funciones normales. En un DCS, el operador puede hacer peticiones directas al sistema de adquisición remota de E/S, teniendo la posibilidad de ejercer control de lazo cerrado a dichas estaciones remotas.

Un sistema HMI (Human-Machine Interface) es el sistema que permite la visualización y la interacción del ser humano con su sistema de automatización. Pueden ser tableros a pie del equipo, que cuente con textos, gráficas o números y pantalla táctil para facilitar la operación. En otra modalidad, el HMI se compone de una computadora y un software para facilitar la visualización con desplegados gráficos de la planta y mediciones en pantalla con las que el operador puede interactuar gráficamente. Así mismo, un HMI puede brindar una interfaz para manejar alarmas, tendencias y registros.

Tanto los SCD como los SCADA cuentan normalmente con HMI, por lo que la visualización es similar y por ello es fácil confundirlos, aunque la funcionalidad tenga sus distinciones. Además, ya existe diversidad de sistemas híbridos que toman distintas características de uno y otro, por lo que la línea entre ambos cada vez es más borrosa y menos trascendente, más que para hacer descripciones funcionales.

La solución SPPA T-3000 es un DCS, sin embargo es pertinente hacer algunas precisiones más.

En la arquitectura de la solución completa de SPPA T-3000, existe algo similar a las RTU de un sistema SCADA, es decir, una estación remota de E/S con su Servidor de Automatización, que ejerce su automatismo aún en ausencia de comunicación con el resto de la planta.

Así mismo, tiene soluciones estandarizadas de control y protección para equipos principales como Calderas y Turbinas, integradas de forma transparente al control de SCD.

También cuenta con un sistema HMI que administra las alarmas y almacena registros históricos, de los que se pueden obtener reportes automáticos y gráficos de tendencia por petición.

El Software SPPA T-3000 es, a la vez, un software de automatización centralizada, una herramienta de desarrollo de algoritmos de control, una interfaz gráfica, un proveedor de servicios para todos los componentes que se pueden sumar a la solución de instrumentación y control de la planta, etc.

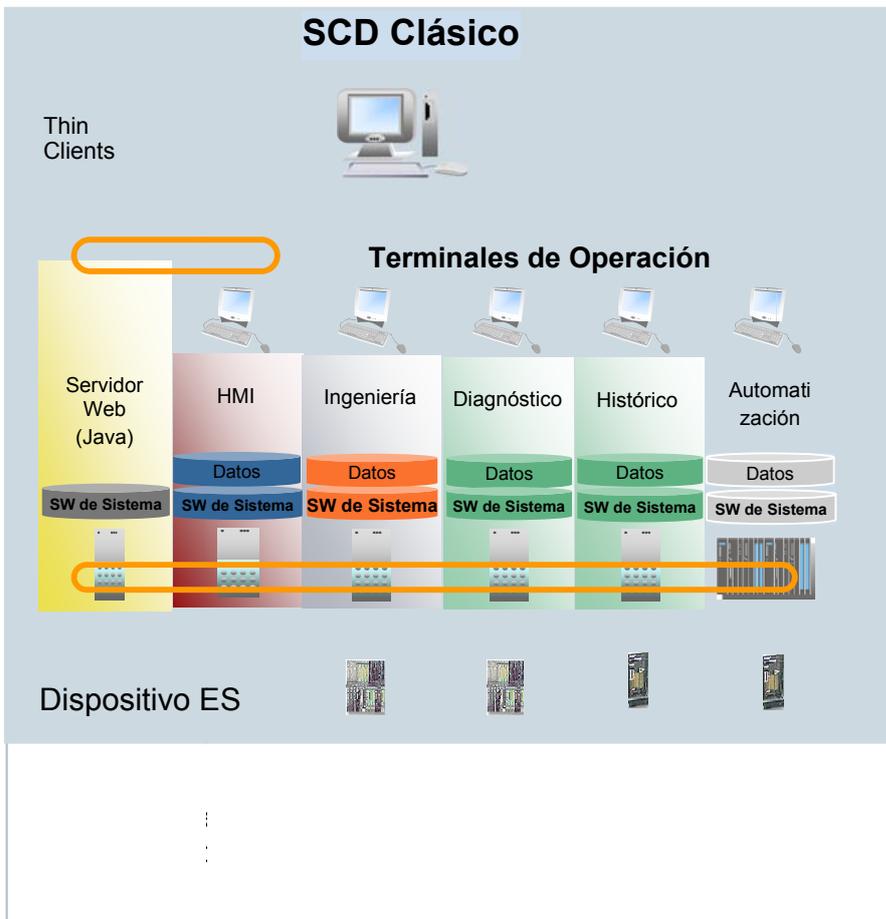


Figura 14 SCD Clásico^{IV}

En la Figura 14 se muestra la arquitectura y funciones de un Sistema de Control Distribuido Clásico, donde los dispositivos de automatización se comunican a través de una red de automatización, representada por el anillo naranja y cada función está distribuida por cada herramienta de software y base de datos relacionada. Arriba, las terminales de operación tienen su propia red.

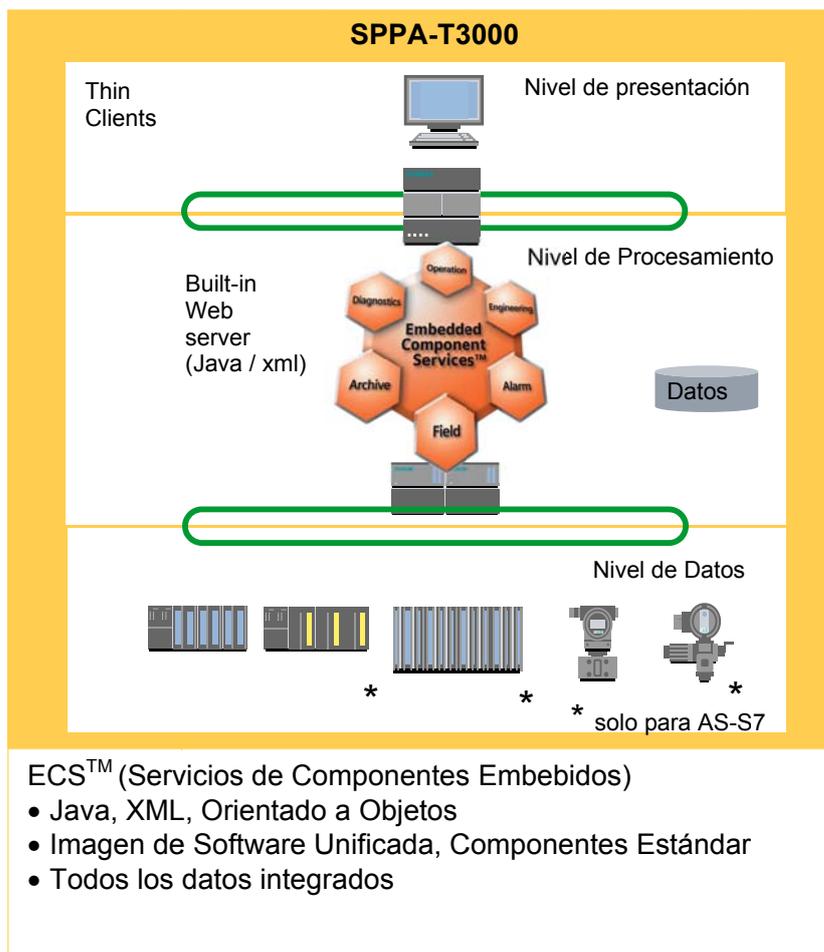


Figura 15 SPPA-T3000^v

En la figura anterior se muestra la arquitectura del SPPA-T3000. En ella, todas las funciones están embebidas en un mismo software y la misma base de datos para todas ellas. La red de automatización se comunica con los dispositivos en campo y la red de aplicación con las estaciones de operación. Ambas redes están interconectadas.

- Los *Thin Clients* son la ventana al proceso y presentan la información relacionada con ingeniería, operación y diagnóstico. Éstos son PCs estándar en los que sólo corre un navegador web.
- La intercomunicación altamente disponible entre todos los componentes se realiza a través de una conexión estándar en red Ethernet con TCP/IP. El acceso al proceso y la conexión con los Servicios de Energía, se brindan a través del bus de campo PROFIBUS DP.
- Se usan el Servidor de Aplicación y los Servidores de Automatización para procesar datos y ejecución en tiempo real de los algoritmos de control
- La interfaz al proceso brinda condicionamiento de señales y salida de comandos a través de módulos de I/O ó dispositivos inteligentes de campo PROFIBUS DP.^{XXII}

El corazón del sistema es el software, llamado Servicios de Componentes Embebidos, que está basado en el almacenamiento de datos orientado a objetos. Todos los aspectos de un componente de planta de generación de energía, por ejemplo una bomba, se recogen 1:1 en un solo módulo de software aquí. Esto aplica a todos los datos. Como resultado, todos los datos para la bomba sólo necesitan procesarse una vez y no es necesaria la sincronización de datos. Ya sea en modo de operación, ingeniería, diagnóstico, archivo o alarma – la intención es que el usuario siempre puede contar con datos consistentes. Todas las “vistas” de datos se alimentan de una sola fuente.^{xix}

El Workbench de SPPA-T3000 está diseñado para integrar todas las vistas para operaciones de planta, modificaciones, sintonización, configuración, diagnóstico de I&C u optimización. Simplemente se inicia el Workbench desde cualquier pantalla a través de un explorador de Internet y se puede tener acceso a Desplegados de planta, Vista de Puntos, Diagramas Funcionales o Vista de diagnóstico, de acuerdo con un rol y derechos de acceso asignados.

Cuando el personal de la planta necesita información detallada de cualquier dispositivo o función individuales, la Vista de Puntos ofrece toda la información, incluyendo valores de tiempo real, datos de configuración, parámetros, etc., relacionaos con cada objeto individual en un click. La vista de Puntos no sólo despliega información, pero también brinda la capacidad de realizar operaciones, forzamiento de puntos o modificaciones desde virtualmente cualquier espacio de trabajo.

Durante situaciones críticas, es esencial un resumen detallado y rápido. SPPA-T3000 brinda un sistema de alarmas sofisticado para habilitar a los operadores para controlar cualquier situación. La información de alarmas, así como el modo en que se despliegan, es fácilmente configurable. El reporte de disparos facilita la solución de problemas después de un incidente de planta. Se pueden generar los reportes automáticamente y se pueden adaptar a los requerimientos. También, los reportes generados se pueden almacenar en un formato de impresora estándar o en un formato de hoja de trabajo comercial, tal como pdf o csv, para mayor procesamiento en un ambiente de oficina o en un tiempo posterior.

Está diseñado para brindar archivado de toda la información a través del tiempo de vida de una planta. Es posible la reconstrucción y análisis de arranques, eventos de disparo y mal funcionamiento de equipos de planta. La información se puede usar para optimización del proceso y mejora de la producción de acuerdo con las metas del negocio. Aplicaciones tales como gestión de planta, planeación de la producción, sistemas expertos y programas de optimización pueden acceder a los datos archivados a través de interfaces estándar.

También el SPPA-T3000 ofrece un enfoque integrado de ingeniería para la implementación de la configuración de control y el diseño de desplegados de planta. Cada elemento de proceso está representado por un componente de software relacionado que representa, no sólo la funcionalidad tradicional de automatización, sino también la funcionalidad para operación y monitoreo, alarmas, ingeniería y diagnóstico de I&C.

La ingeniería integrada asigna los datos de aplicación respectivos hacia un solo objeto de proceso que realiza el control y despliega la información correspondientemente. La

ingeniería puede optimizarse y programarse de acuerdo con los requerimientos del proceso tecnológico de la planta, independientemente de si se está realizando la ingeniería de la lógica de control o de la representación en HMI.^{xxii}

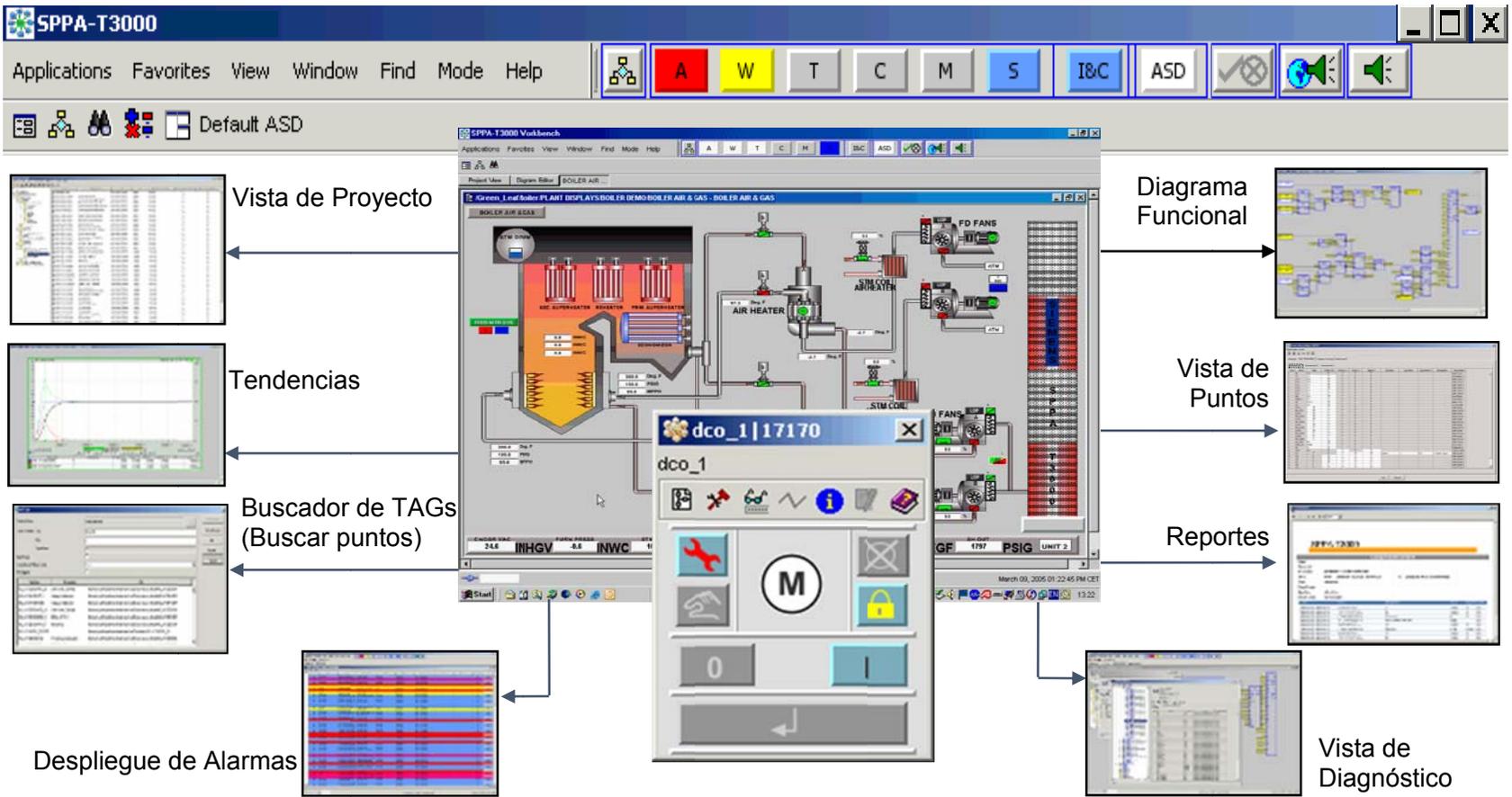


Figura 16 Interfaz Única de un Sólo Usuario para todas las tareas

En la Figura 16 se muestran las distintas vistas en modo operación del sistema SPPA-T3000, desde donde se puede hacer ingeniería, diagnóstico, reportes, análisis, monitoreo de alarmas, de estados y operación de los accionamientos en campo como motores, bombas, ventiladores, válvulas, etc.



Operación

Toda la información disponible a la vista para una fácil operación de planta



Diagnóstico

Diagnóstico integrado sin equipo adicional para estrategias optimizadas de mantenimiento



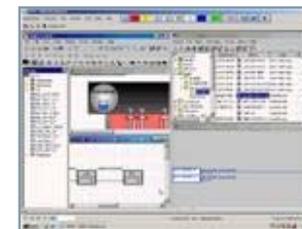
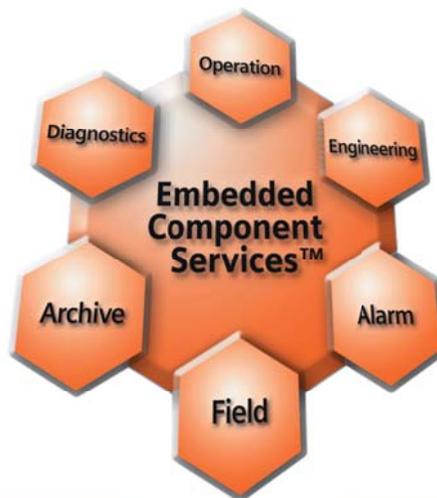
Archivo

Archivado seguro de por vida para cambios en planta y gestión de bienes



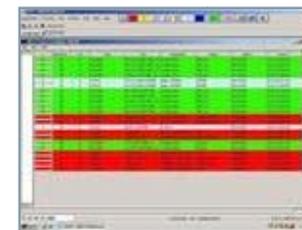
Campo

Interfaz de proceso integrada para comunicación con dispositivos de campo



Ingeniería

Ingeniería integrada para configuración y modificación rápidas



Alarma

Solución de problemas en la punta del dedo con reportes de disparo, desplegado de resumen de alarmas y reportes de eventos, todo personalizado

Figura 17 SPPA-T3000 - Todos los datos embebidos dentro de un sólo objeto de software^v

La arquitectura de SPPA-T3000 está basada en tecnología web. Esto se ha convertido en un método estándar para brindar información distribuida a diferentes plataformas, y sus capacidades apenas están comenzando a explotarse. En un futuro cercano, se integrarán más aplicaciones al ambiente web, tomando mayor ventaja de la capacidad de acceder y compartir información alrededor del mundo. El SPPA-T3000 se ha diseñado para obtener el beneficio de las capacidades actuales y futuras de la web y para brindar información fácilmente a través de un amplio rango de plataformas y formatos computacionales.^{xx}

La solución de Siemens que Pemex tiene instalada en las plantas se llama SCOA (Sistema de Control Operacional Avanzado). Esto es lo sobresaliente del control en dichas plantas; el SCOA es un SCD con una funcionalidad adicional; algunos algoritmos maestros centralizados que coordinan todas las unidades disponibles en la planta, desarrollando un balance de energía bajo requerimientos del proceso y ejerciendo acciones de protección contra el déficit de energía.

En Salina Cruz estaba recientemente migrado el sistema de control a un esquema de funcionalidades embebidas, con algunos conceptos nuevos desde el sistema original Teleperm que funcionaba con subsistemas aislados. Las nuevas plantas, aunque operadas de forma independiente, requerían estar integradas al sistema centralizado de control, para visualización en el cuarto de control de todas las alarmas y disparos de las nuevas subestaciones eléctricas y los interruptores principales migrados, así como para operación de la Torre de Enfriamiento.

6. Metodología utilizada

El proceso de modernización de Siemens para plantas de generación de energía, consiste en seis fases. Consiste en:

- Evaluación en sitio
- Análisis
- Ingeniería
- Pre-instalación e interrupción del servicio
- Sintonización fina
- Servicio^v

El proceso para plantas nuevas, como la mencionada en éste trabajo es similar, salvo por la interrupción del servicio, el cual se convertiría en el arranque inicial de la planta nueva. Para una caldera, en ocasiones esto incluye la caracterización de sus curvas de funcionamiento, por ejemplo.

Otra de las características sobresalientes del proceso de ejecución de Siemens consiste en su adherencia al conocimiento y amplia experiencia sobre Gestión de Proyectos (Project Management)

Existe un estándar de gestión de proyectos compilado en el PMBoK, sin embargo, Siemens de manera particular cuenta con una proceso de gestión adaptado con hitos y secuencias denominado PM@Siemens.

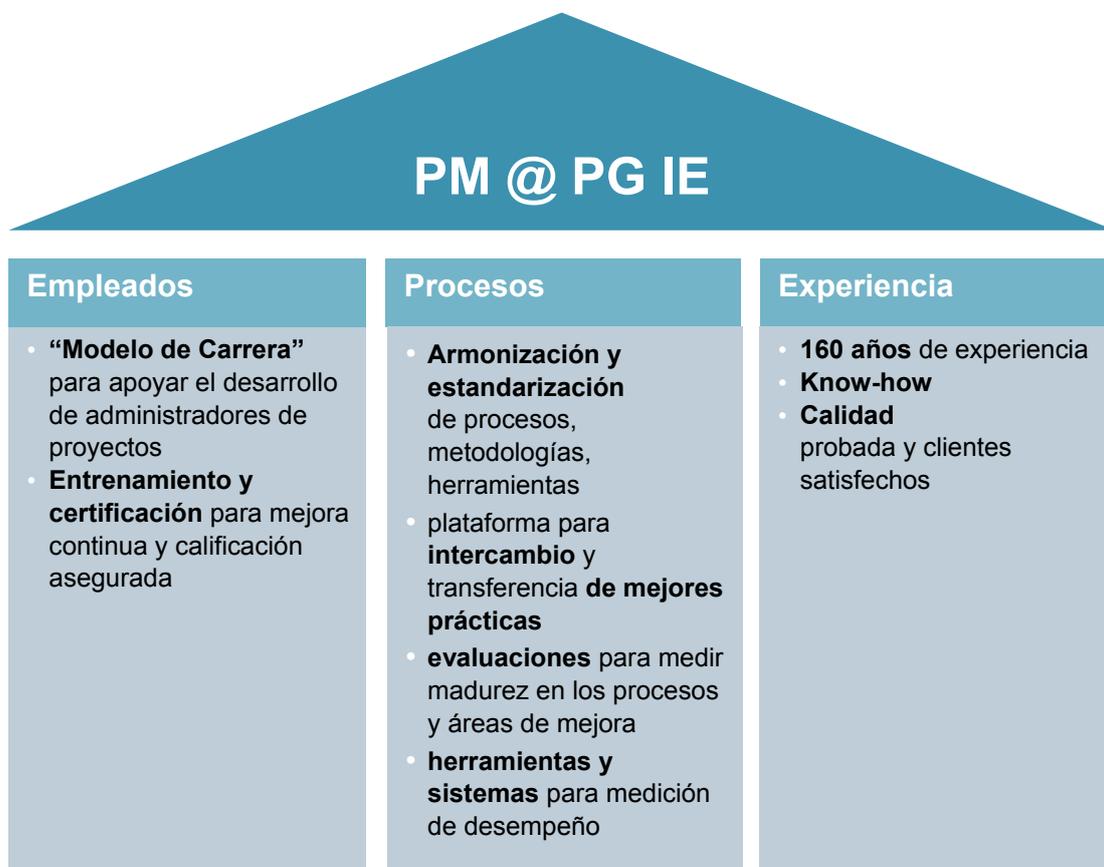


Figura 18 Tres pilares para Gestión Exitosa de Proyectos

xxi

Los componentes que apoyan la gestión de PM @ PG IE se muestran en la Figura 18:

- En primera instancia, la Administración de Proyecto es una Carrera dentro del área de Power and Gas, de manera que todos los empleados que la cursan, también se especializan en el tipo de proyectos que administran.
- En segundo lugar, Siemens ha desarrollado procesos, a nivel global, para aprender y mejorar continuamente de las experiencias en proyectos en otros lugares. También por ello, se desarrollaron herramientas para mejorar los procesos.
- El tercer pilar es toda la historia de implementación de proyectos en el sector Power and Gas, que ha generado una base de conocimiento disponible a lo largo del mundo para todo el personal de ejecución.

Los procesos dentro de la ejecución se ilustran en la Figura 19:

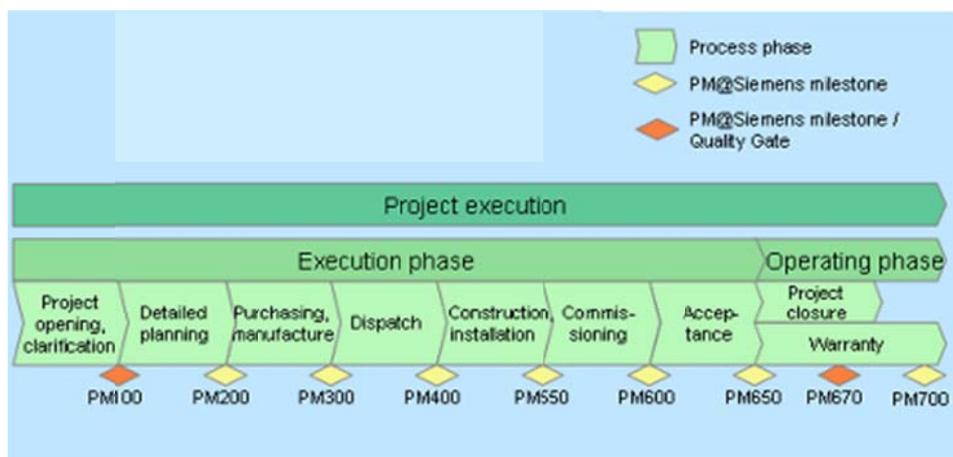


Figura 19 PM@Siemens^{xxii}

La fase de ejecución (desde el desarrollo de ingeniería hasta la puesta en servicio), PM080-PM650 comienza por la apertura y aclaración del proyecto, para definir las especificaciones que servirán como entrada a la planificación detallada, donde se incluyen la ingeniería básica y de detalle. Una vez realizada dicha planificación, se compran los materiales y se fabrican los tableros de control, para ser recibidos en sitio, en la fase de Dispatch. A continuación, a partir del PM400 se realiza el montaje e instalación para preparar la puesta en servicio de la fase PM550-PM600. En ella se realizan pruebas de lazo, pruebas de funcionamiento en frío, en caliente y optimización de los controles, para lograr la aceptación del sistema por parte del cliente. Ya en la fase de operación, se hace el traspaso a operación, pero el sistema sigue bajo el monitoreo de la garantía.

Mi participación en el proyecto comenzó en la Apertura de Proyecto y terminó en las pruebas de Aceptación de Fábrica, previas a la Instalación en Sitio (PM100-PM400).

Los retos en la ejecución de ésta solución tecnológica fueron:

- La integración de equipos paquete de diferentes fabricantes
- La unificación de tecnologías de protección eléctrica de diferentes fabricantes a partir del protocolo IEC61850
- Uniformar criterios de la solución Siemens existente con los equipos de las plantas nuevas, que tenían una filosofía de trabajo particular
- Empatar requerimientos propios de la tecnología eléctrica con los de la tecnología de instrumentación y control
- Trabajar con las especificaciones y requerimientos del cliente inmediato como integrador, atendiendo al mismo tiempo los requerimientos del cliente final.
- El cumplimiento con tiempos récord de ingeniería.
- Fungir como proyecto en la implementación nuevos estándares en la ejecución del departamento.

Comment [números

- Planear la integración con el sistema de control central, al mismo tiempo que se estaba ejecutando un proyecto de modernización del mismo

6.1 Apertura de Proyecto

La aclaración del proyecto sirve para explorar los requerimientos exactos del cliente, a través de juntas de aclaración y análisis para formular los parámetros específicos del proyecto, en conjunto con el cliente. Ésta fase es importante porque el éxito del proyecto se determina mayormente en este punto, ya que las medidas correctivas en etapas posteriores son más costosas en tiempo y presupuesto.^{xxiii}

Yo me involucré en ésta fase, para ayudar a analizar el alcance técnico del proyecto y formular preguntas abiertas y peticiones de información hacia el cliente con el objetivo delimitar de manera detallada el requerimiento específico del cliente para el diseño de la solución.

También en éste punto se me asignó la tarea de Gestión de Calidad (Quality Manager in Project) para el proyecto, con lo que se planeó el programa específico de calidad, basado en el estándar previamente existente en Siemens.

Así mismo, se recibieron los requerimientos de documentación por parte del cliente para proceder con toda la comunicación de documentos que derivara de la ejecución.

6.2 Planificación Detallada

De acuerdo con la terminología del PMI (Project Management Institute), la planificación detallada es la tercera etapa de la vida de un proyecto, en la que se enlistan todos los requerimientos que necesitará el equipo de ejecución para liberar los entregables esperados del proyecto dentro de los costos y tiempos acordados.^{xxiv}

En ésta fase es donde se realiza generalmente la ingeniería más especializada para definir los conceptos de Hardware, Software, Control y Red. Posteriormente se entregan la Ingeniería Básica y la Ingeniería de Detalle. En éste punto fue donde mi participación se volvió especialmente crítica para entregar en tiempo el diseño completo del sistema de control.

En el diseño, puedo distinguir cuatro temas en los que se concentró la especialización del proyecto de Instrumentación y Control de Gasolinas Limpias Salina Cruz, durante su fase de Ingeniería Básica: Protocolo de comunicación IEC61850, Nomenclatura KKS (Kraftwerk Kennzeichnung System, propiedad de Siemens), Protocolo de comunicación Modbus, Funcionalidad del SECA (Sistema de Segregación de Cargas, propiedad de Siemens)

6.2.1 Protocolo de comunicación IEC61850

Una forma de optimizar los recursos para el proceso operativo de las instalaciones eléctricas es mediante la automatización de las tareas. Para lograrlo, se requieren dispositivos inteligentes capaces de ser programados para realizar tareas en respuesta a ciertos estímulos bien identificados donde no sea necesaria la intervención humana. Los relevadores de protección constituyen la primera aproximación de éste sistema automatizado.

Las UTR (Unidades Terminales Remotas) fueron los primeros equipos probados y que demostraron su capacidad para ejecutar la operación y supervisión de las instalaciones sin la intervención humana.

De acuerdo con Fuentes Estrada (2012):

Los sistemas basados en cable, relevadores electromecánicos y UTR, podían “transmitir” las señales de forma espontánea, desde el elemento que las generaba hasta los dispositivos encargados de procesarla para enviarla a los Centros de Control.

Para sistemas basados en comunicaciones, al tiempo total de respuesta debía agregarse también el tiempo de proceso de la información por algún Dispositivo Electrónico Inteligente que recibiera la señal a enviar a la UTR, más el tiempo de transmisión por el medio de comunicación que enlazaría a ambos equipos (Fuentes Estrada, pág. 15)^{xxv}

En una integración clásica de sistemas de distribución de energía, se tenían los equipos de adquisición en campo conectados al sistema de control únicamente a través de dispositivos de entrada/salida y un sistema experto que estaba disponible únicamente de manera local. La interacción con el sistema de control era limitada.

La siguiente evolución permitía el control de bahía con visualización al cuarto de control en una red separada del sistema de control de proceso. Hoy en día existe la posibilidad de una integración completa y transparente con dispositivos inteligentes, unificada con el sistema de control de proceso.

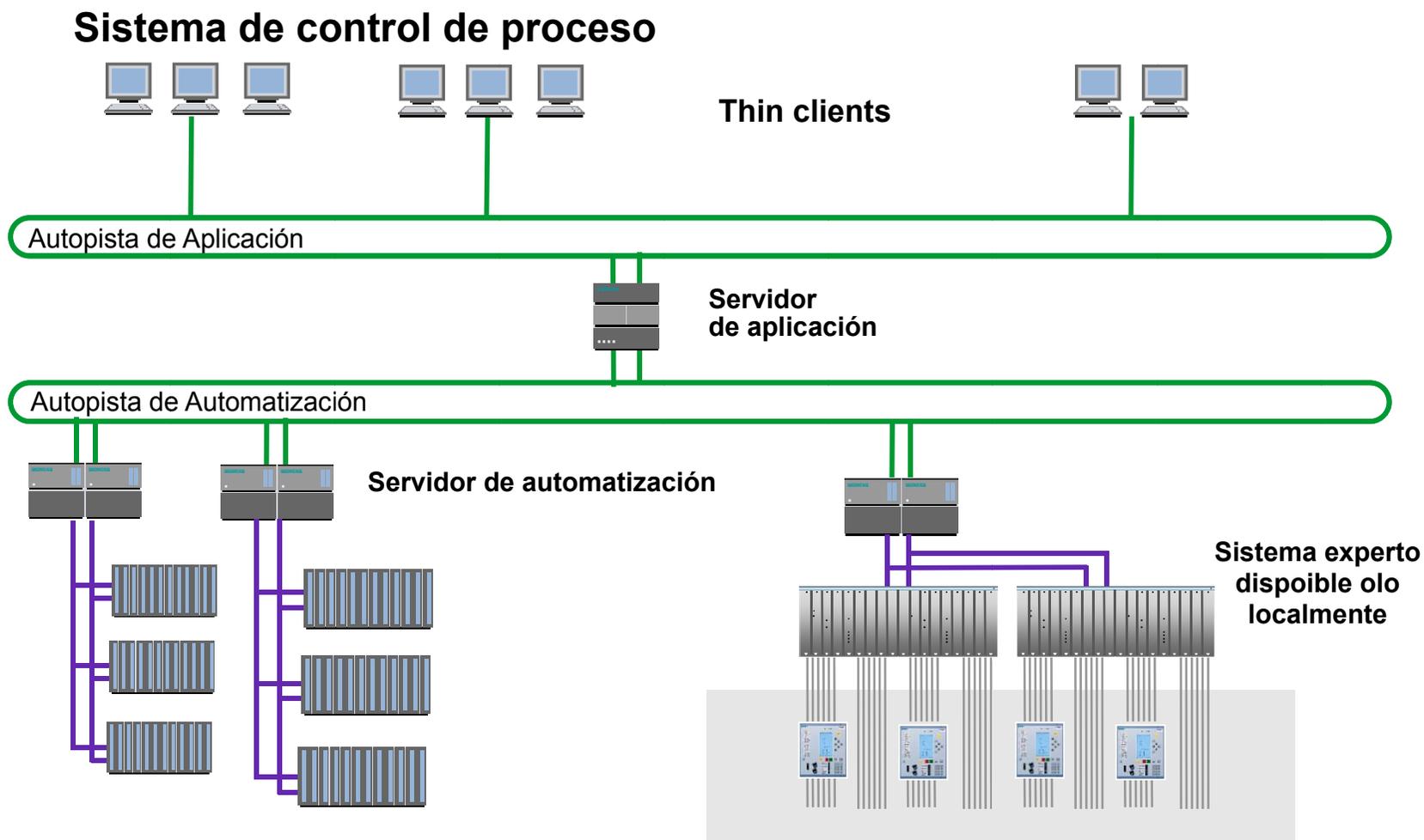


Figura 20 Integración clásica de distribución de energía xxvi



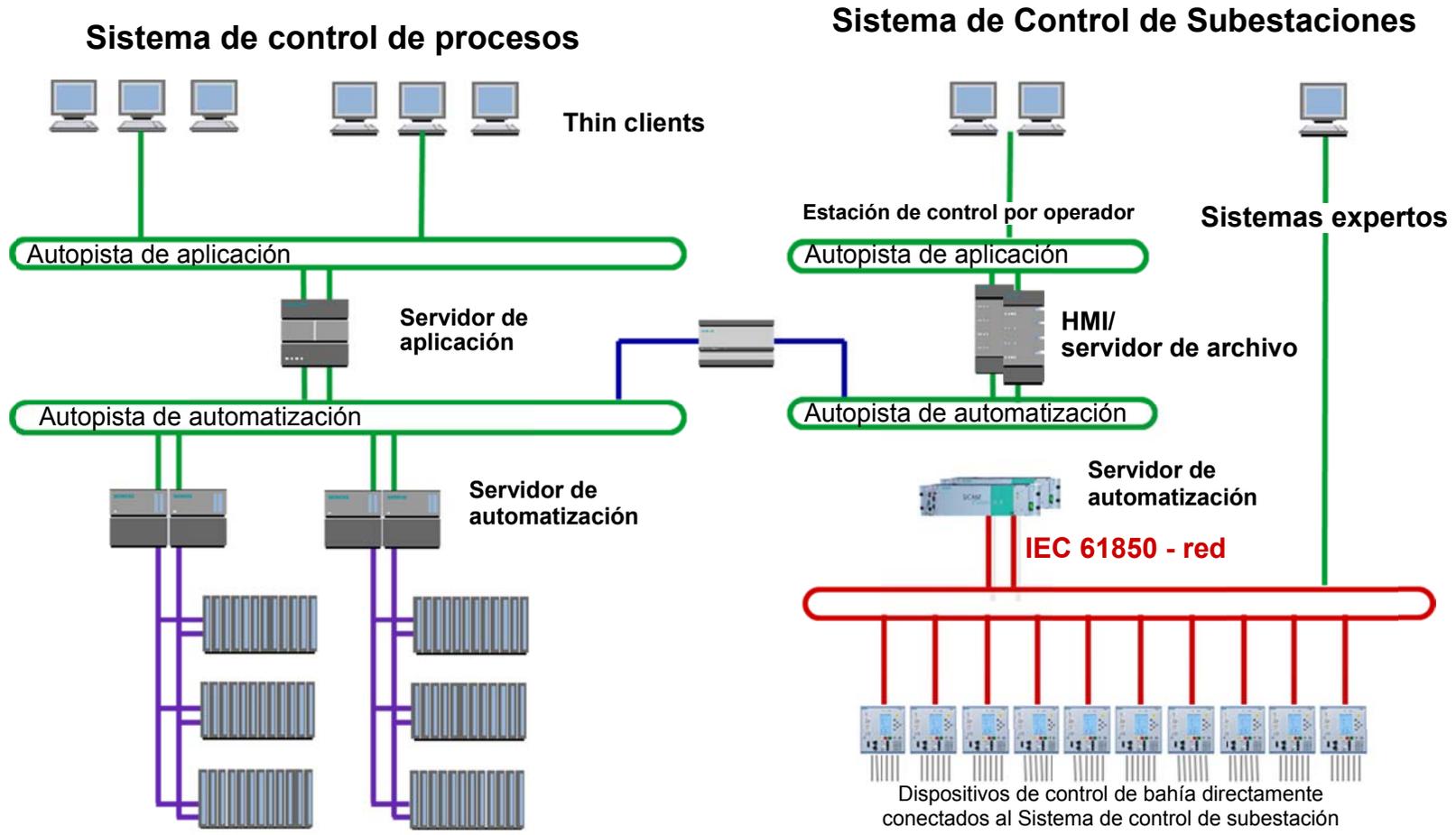


Figura 21 Dispositivos de control de bahía directamente conectados al sistema de control de subestación^{xxviii}

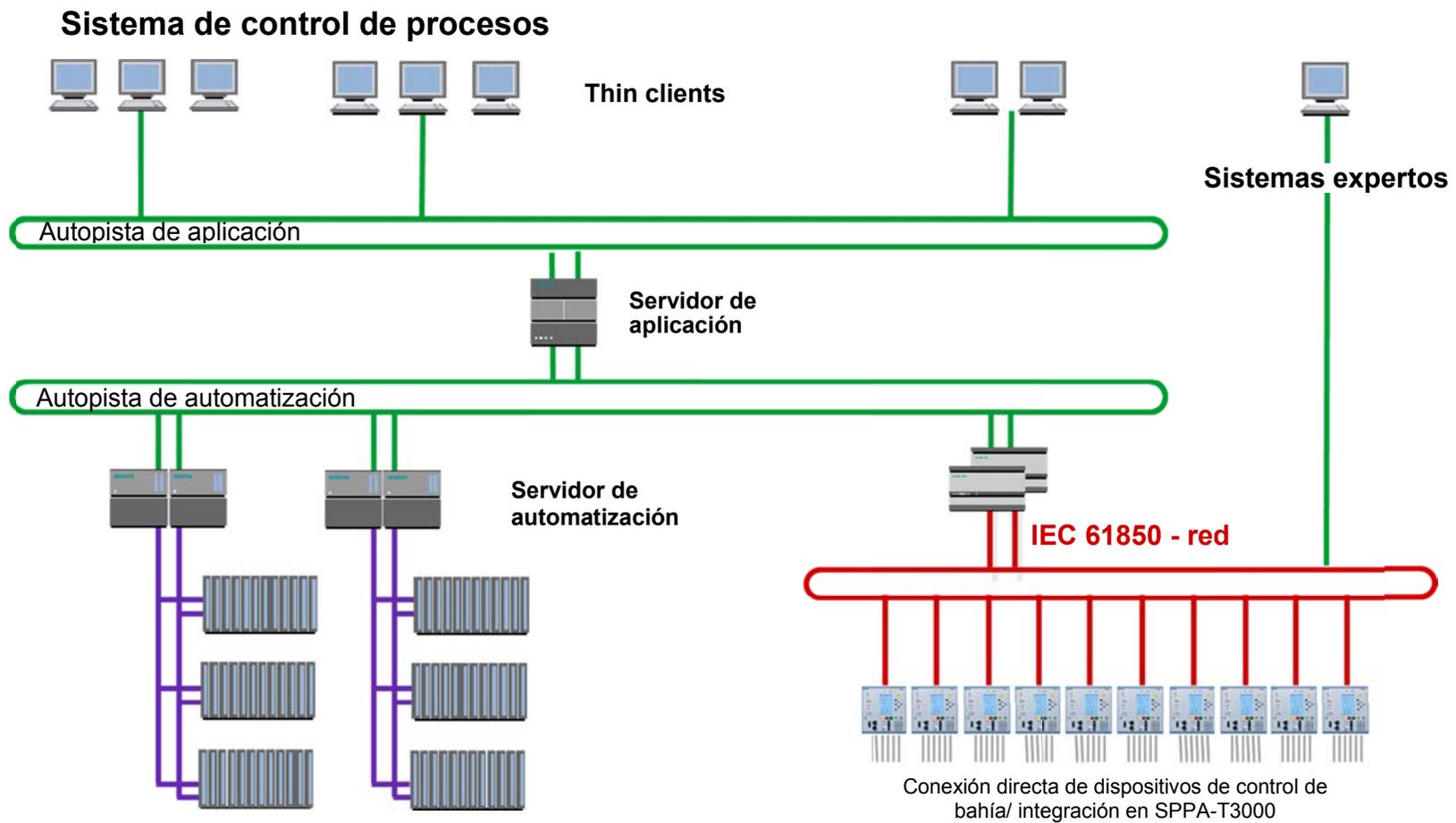


Figura 22 Integración de la distribución de energía a SPPA-T3000^{xxviii}

Desde 2004, IEC 61850 es el estándar internacional, abierto, utilizado para la comunicación de datos de las redes eléctricas y para el modelado de subestaciones eléctricas. Está optimizado para la transferencia eficiente y fiable de datos y comandos de procesos entre y dentro de dispositivos electrónicos inteligentes y de la(s) subestación(es). IEC 61850 ha sido diseñado para su uso sobre redes de comunicación de alta velocidad.^{xxvii}

La integración completa con SPPA-T3000 permite las siguientes características:

- Misma filosofía de operación que la ingeniería de proceso
- Misma estructura de desplegados, mismos símbolos
- Despliegue de SOE (Secuence Of Events, Secuencia de eventos) compartido y archivo compartido
- Estaciones de trabajo de operador compartidas
- Administración compartida
- Gestión de acceso compartido
- Archivo de registro de fallas centralizado
- Sincronización de tiempo de reloj común a todo el Sistema
- Estampado de tiempo de resolución de 1ms en el dispositivo de control de bahía
- Diagnóstico de la comunicación entre dispositivos de control de bahía
- Administración y diagnóstico de la red de IEC61850

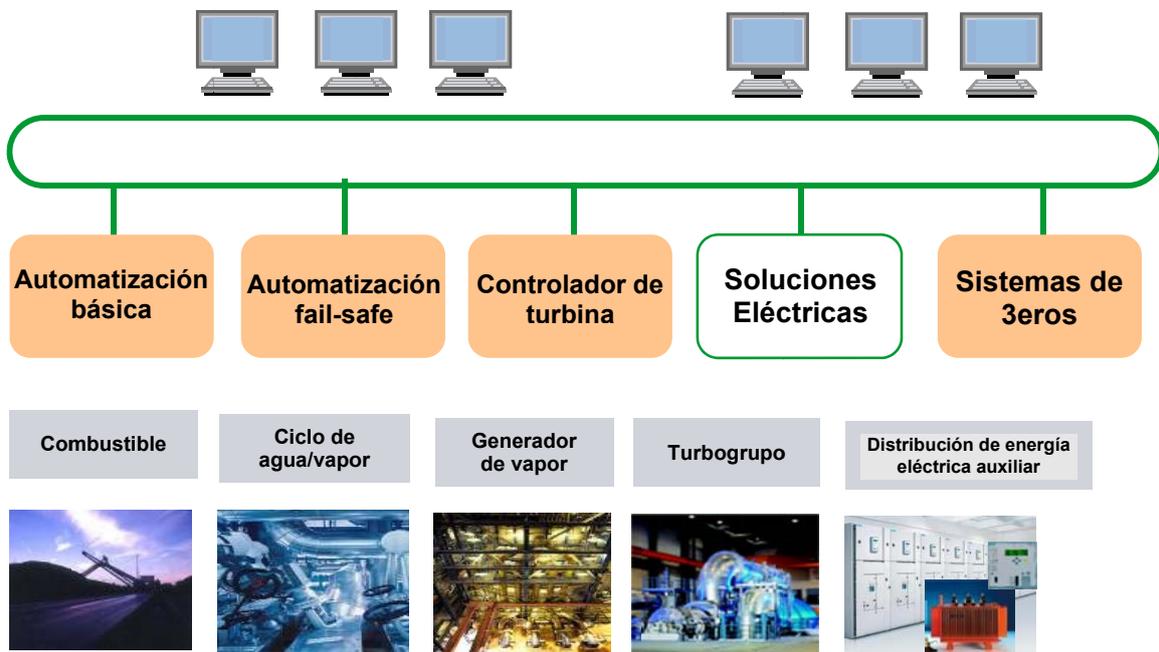


Figura 23 Una arquitectura de software que integra todas las aplicaciones y tareas^{xxviii}

Como se muestra en la Figura 23, la arquitectura concentra la automatización básica de los componentes para el sistema auxiliar de generación de vapor (ciclo de agua, quemadores, sopladores de hollín, cálculos para relación de combustible/aire), la automatización fail-safe (protección de calderas). También, entre las funciones que se pueden integrar a la arquitectura se encuentran las específicas al turbogenerador (control y protecciones), las concernientes al sistema eléctrico (distribución de energía y protección de interruptores) y los sistemas de terceros (sistemas comunicados por protocolos no propietarios de Siemens, o “black box”), en una misma plataforma.

Una subestación eléctrica cuenta con las siguientes funciones básicas:

- A. Protección
- B. Control
- C. Monitoreo y supervisión
- D. Medición

Estas funciones son proporcionadas por un sistema compuesto por varios componentes que interactúan entre sí para ejecutarlas.^{xxiv}

La norma IEC61850 es una solución completa a la automatización de subestaciones. Cubre los aspectos sobre ingeniería, requerimientos de los componentes, protocolos de comunicación e intercambio de información entre herramientas informáticas de distintos fabricantes.^{xxiv}

Lo que se requiere para la interoperabilidad entre distintos proveedores es un estándar que uniformice:

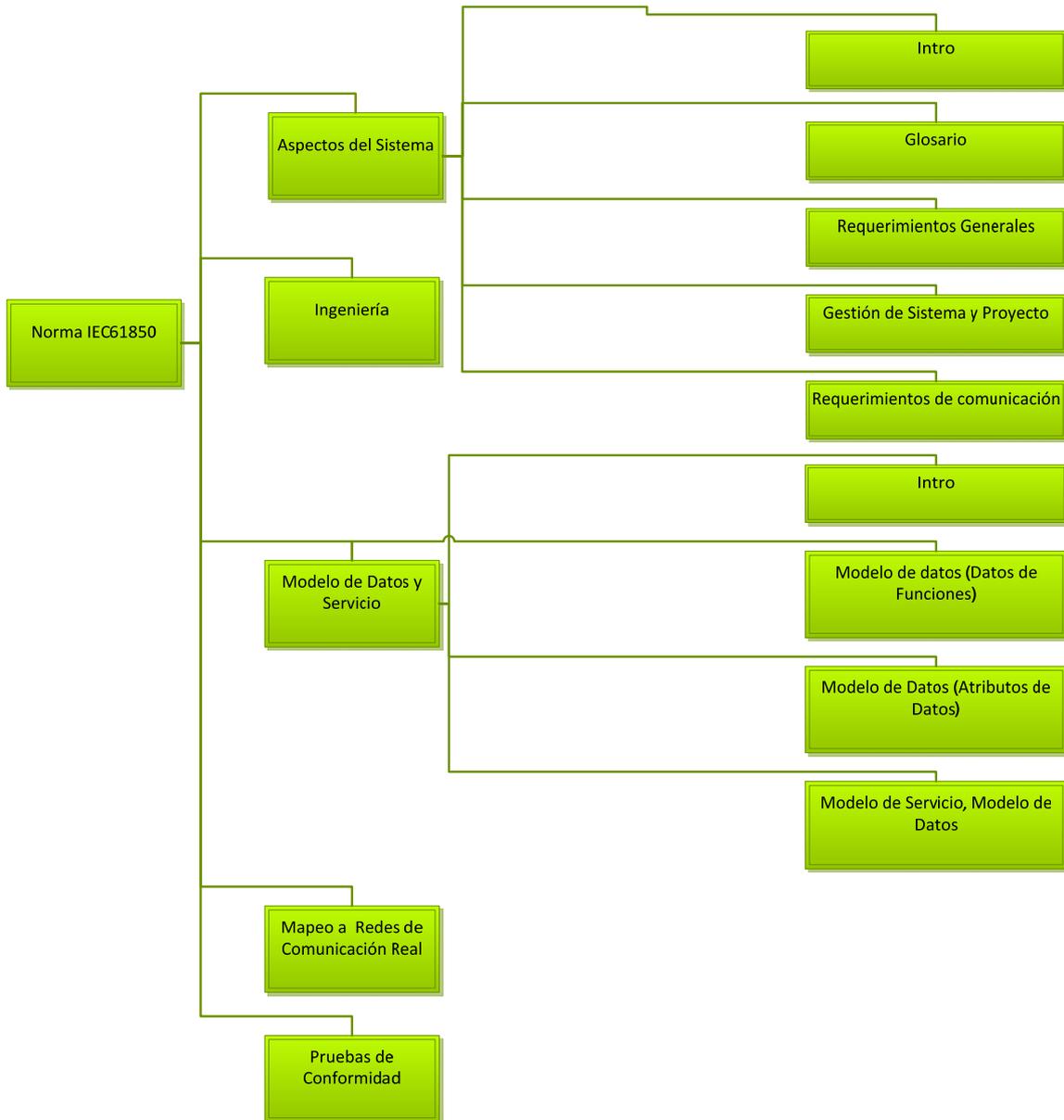
- El medio de comunicación
- El protocolo
- El lenguaje (modelo de datos)
- Los servicios (modelo de servicio)
- El intercambio de datos de ingeniería
- Las pruebas de conformidad

Es por ello que IEC61850 se ha convertido en un estándar internacional. De manera general, el Estándar IEC61850 contiene los siguientes apartados^{xxviii}:

Aspectos y requerimientos del Sistema Partes 1-3, 5	Dispositivos		Ingeniería de Sistema y gestión de proyecto Partes 4 y 6	Pruebas Parte 10
	Modelos de objetos Partes 7-3 y 7-4			
	Servicios de comunicación con SCADA Parte 7-2	Comunicación en tiempo real (GOOSE, Valores Muestreados) Parte 7-2		

	Mapeos Parte 8-1, 9-1 y 9-2		
	Red de comunicación		

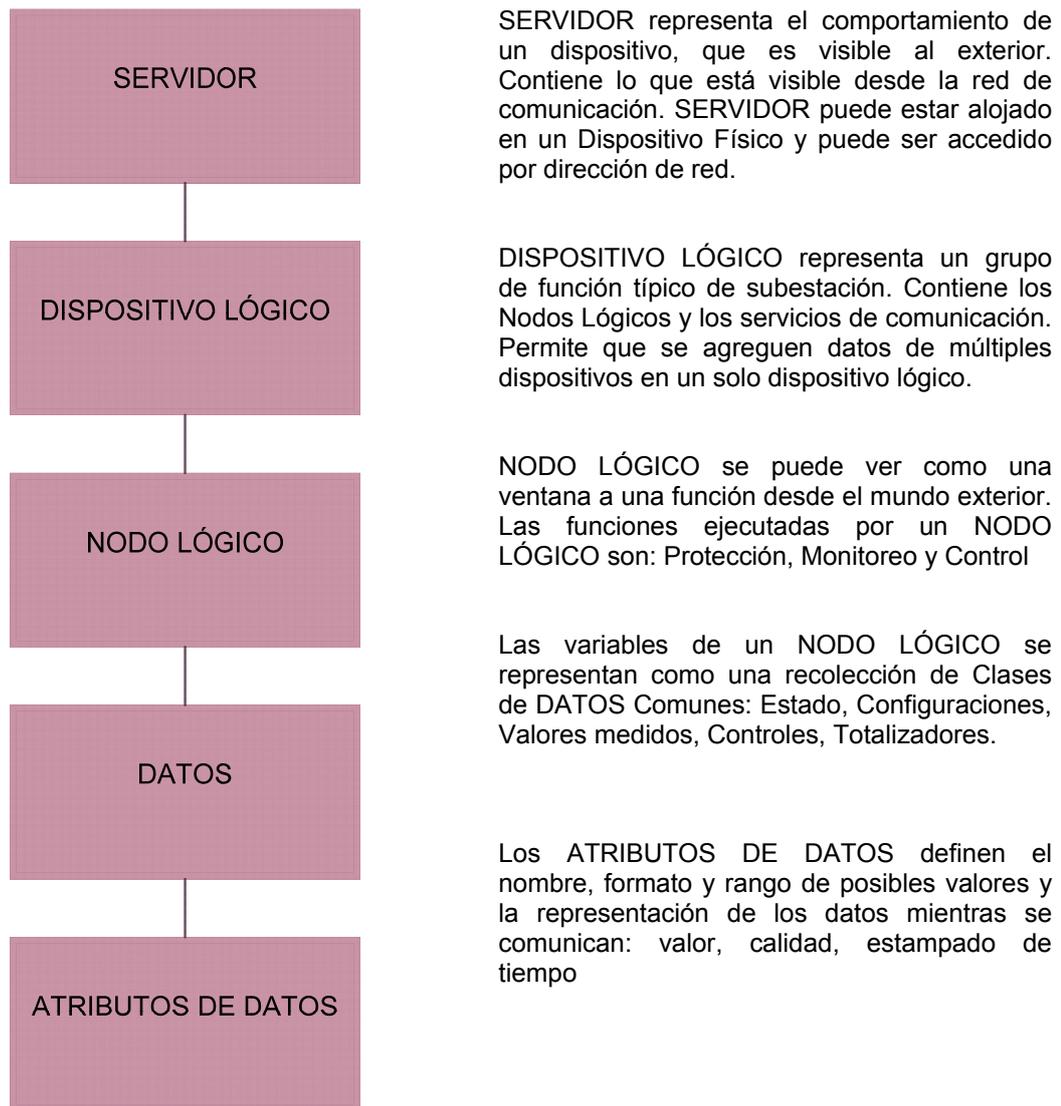
A continuación se muestra a detalle la estructura de IEC61850.



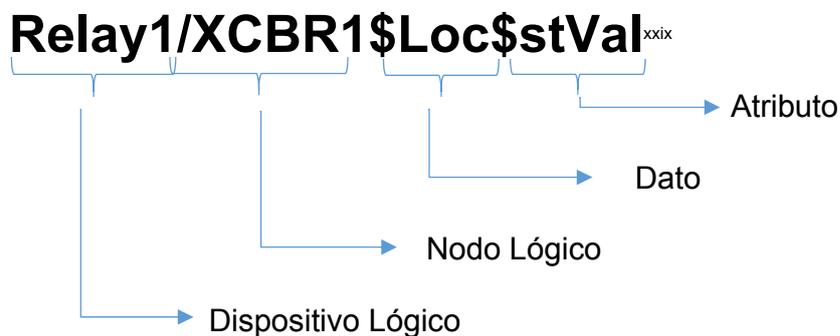
El modelo de objeto especificado en IEC61850 define el modelo de datos completos orientados a objeto, lo cual es la base para la programación y configuración de auxiliares eléctricos en la estación de fuerza, tal como instalaciones de switchgear o protección de bloques. También define el protocolo de comunicación con el nivel más alto de instrumentación y control.

Por lo tanto, el primer objetivo el protocolo sería describir cómo transformar una arquitectura eléctrica en un objeto.

A continuación se muestra el modelo de Jerarquía de objetos:



Para explicar la estructura de Nombre de Objeto, se muestra el siguiente objeto:



Para el caso de las subestaciones SE-11A y SE-11A-1, a cada dispositivo lógico (relevadores de protección en éste caso), le asigné una denominación basada en la nomenclatura KKS –de la cual se hablará en el siguiente apartado-.

Los nodos lógicos, en contraste, están estandarizados, como se muestra en la siguiente tabla:

Grupo Lógico	Nombre	Número de Nodos Lógicos
Lxxx	Nodos Lógicos del Sistema LPHD (dispositivo físico) y LLN0	2
Pxxx	Protección PDIF, PIOC, PDIS, PTOV, PTOC, etc.	28
Rxxx	Relacionadas con protección RREC (auto re-cierre), RDRE (perturbación), etc.	10
Cxxx	Control CILO (Interlocking), CSWI (control de switch), etc.	5
Gxxx	Genérico GGIO (E/S genérica), etc.	3
Ixxx	Interfaz y archivado IARC (archivo), IHMI (HMI), etc.	4
Axxx	Control Automático ATCC (intercambiador de tap), AVCO (control de voltaje), etc.	4
Mxxx	Medición y totalizador MMXU (medición), MMTR (totalizador), etc.	8
Sxxx	Sensado y monitoreo SARC (arcos), SPDC (descarga parcial), etc.	4
Xxxx	Switchgear XCBR (interruptor) and XCSW (switch de circuito)	2
Txxx	Transformador para instrumentos TCTR (transformador de corriente), TVTR (transf. de voltaje)	2
Yxxx	Transformadores de potencia YPTR (transformador), YPSH (shunt), etc.	4

Zxxx	Equipo adicional de Sistema de Potencia ZCAP (control la tapa), ZMOT (motor), etc.	15
------	--	----

Es importante hacer notar que la plantilla de protocolo del dispositivo a integrar contiene las funciones disponibles para el mismo. Estos datos, para mapeo del código en lenguaje xml, esta contenido en un archivo llamado ICD. La configuración completa de la arquitectura del sistema eléctrico, traducido a código xml, se encuentra en otro archivo llamado SCD. Éste último se configura en un sistema experto en protocolo IEC61850, lo cual en esta ocasión no fue alcance del proyecto.

Tomando en cuenta lo anterior, desarrollé una lista de objetos a integrar al sistema de control, que compartí con los diferentes proveedores para referencia en la parametrización de sus relevadores inteligentes, lo cual en ésta ocasión no fue alcance de mis labores en el proyecto.

En dicha lista ya se definían, como se puede observar, las funciones que se integrarían al HMI, y si éstas constituirían mediciones, protecciones, totalizaciones u objetos genéricos. El reto en ésta parte fue conocer a detalle las especificaciones de cada marca de relevadores inteligentes utilizados y las funciones que era capaz de brindar cada dispositivo, con el objetivo de hacer un mapeo óptimo de las señales, que cumpliera con lo esperado por el cliente.

Posteriormente realizamos los ajustes correspondientes en el servidor de aplicación y los servidores de comunicación, así como en los switches de comunicación industrial utilizados en el proyecto, con el objetivo de prepararlos a recibir la comunicación IEC61850. Para ello, también debían considerarse en el diseño de la red de comunicación, las especificaciones del medio seleccionado por el cliente –fibra óptica-; la velocidad de transmisión, el tipo de empaque y terminación de la fibra óptica, las distancias de transmisión y la distribución de los dispositivos inteligentes en la red, diseño que estuvo realizado conforme a la disposición de la propia red eléctrica que proporcionaría el cliente a la refinería.

Realicé también la topología detallada del sistema, que incluía el nivel de automatización para el sistema de control de la Torre de Enfriamiento y visualización de los equipos paquete, integrado con la red de comunicación anteriormente mencionada. Todo finalmente se centralizó en el servidor de aplicación que administra el HMI.

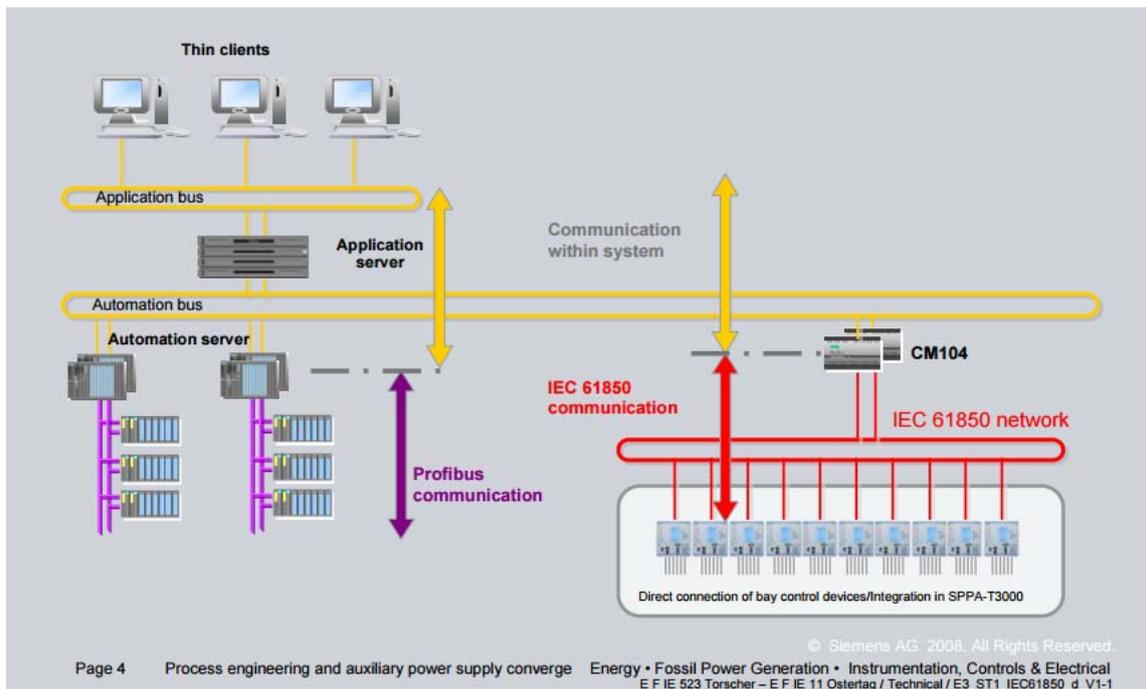


Figura 24 Enlace entre la red IEC 61850 y el bus de automatización del sistema de I&C SPPA-T3000^{xxx}

En la figura 24 se muestra una topología genérica de interconexión entre el bus de automatización y la red IEC61850, que constituyó uno de los conceptos críticos a desarrollar para la Ingeniería Básica del presente proyecto, ya que involucraba a todas las áreas participantes y a todos los proveedores de equipos de terceros.

Para realizar la asignación de código KKS mencionada, era importante diseñar primero la arquitectura de red de comunicación de los relevadores inteligentes. Se planeó una topología de anillo –como se muestra en la figura anterior- para mayor confiabilidad, esto significa que aún a falla de un elemento, todos los dispositivos pueden seguir comunicados.

La topología mostrada en la figura es un ejemplo sencillo de diseño, sin embargo en un proyecto real es necesario estudiar la arquitectura del sistema eléctrico diseñado; distribución en subestaciones, redundancias, niveles de voltaje, equipos críticos, etc. Para hacer una distribución de comunicación acorde. Para ello estudié los diagramas unifilares proporcionados por el cliente que brindaban información sobre el diseño de su red eléctrica, así como los diagramas unifilares generales de la planta, para entender en qué nivel se insertaban las nuevas subestaciones.

En éste entendido, también se dibujaron las pantallas de operación, como una reproducción simplificada de los unifilares y tomando en cuenta los códigos de color de la planta para denotar los distintos niveles de voltaje.

6.2.2 Nomenclatura KKS

Durante el proceso de ingeniería, es conveniente usar símbolos e identificadores de equipos, a manera de representación alfanumérica de conceptos, tanto para conceptualizar el proceso como de forma auxiliar en la comunicación de información. Además facilita la comunicación entre personas de diferentes lenguajes, en lo que respecta a la planta.

Existen diversos sistemas de identificación internacional:

- S88.01 (ANSI/ISA-88.01) Estándar de Control de Lotes, de especial utilidad en las industrias química y médica
- S95.01 (ANSI/ISA-95.00.01) Estándar de Integración de Empresa/Sistema de control.
- EIS. Parcialmente basado en el estándar ISO3511. Para la industria productora de vinos
- DEP. Estándar para las refinerías, plantas químicas y de gas e instalaciones de exploración y producción de petróleo.
- KKS. Para plantas de generación de energía, en particular para unidades nuevas.^{xxxi}

En el presente proyecto se utilizaron dos nomenclaturas internacionales para identificar equipos, lazos y señales:

- ANSI
- KKS

El sistema de codificación ANSI es un estándar internacional de dominio público, donde tanto los símbolos como los identificadores pueden representar hardware (un dispositivo discreto, identificado de manera única), y las funciones realizadas por tal dispositivo. El nivel de detalle involucrado en dicha representación depende del objetivo de uso de los símbolos y la identificación. Puede variar desde representaciones extremadamente simples, a unas complejas. Por ejemplo, un diagrama de flujo de proceso podría indicar únicamente que se controlará una variable, mientras que el diagrama de lazo asociado podría mostrar todos los dispositivos en el lazo de control, sus interconexiones y sus ubicaciones.

ISA utiliza un sistema de números de TAG, un código alfanumérico que identifica de manera única a un instrumento o función. El estándar ANSI está basado en la utilidad, simplicidad y universalidad, y ha sobrevivido al paso del tiempo. El método ANSI fue originalmente documentado por ISA-RP-5.1 tal como se emitió en 1949, ha pasado por diversos consensos y por el uso de varios años, ha soportado el paso del tiempo y se reconoce como una buena herramienta de comunicación.

El método de identificación ISA utiliza un código de designación alfanumérico. La porción alfa consiste de letras mayúsculas, preferiblemente no más de 4; la parte numérica

consiste de números tan bajos como uno y preferiblemente no más de 9999. Los números pequeños son más fáciles de recordar y cuadran mejor en las burbujas de instrumentos en los dibujos. El código alfanumérico entero se llama número de tag.

Por otra parte, el sistema de identificación de KKS fue desarrollado por el Panel de Trabajo de VGB y forma parte del know-how de Siemens. Desde 1978, se ha desarrollado e implementado el Sistema de Identificación para Plantas de Energía (KKS) en diversos campos para estandarizar los identificadores en sistemas de proceso.

El Sistema de Identificación para Estaciones de Energía “KKS” (Kraftwerk Kennzeichensystem) sirve para identificar plantas, secciones de plantas e ítems de equipo en todo tipo de estación de energía de acuerdo con su tarea, su tipo y su ubicación.^{xxxii}

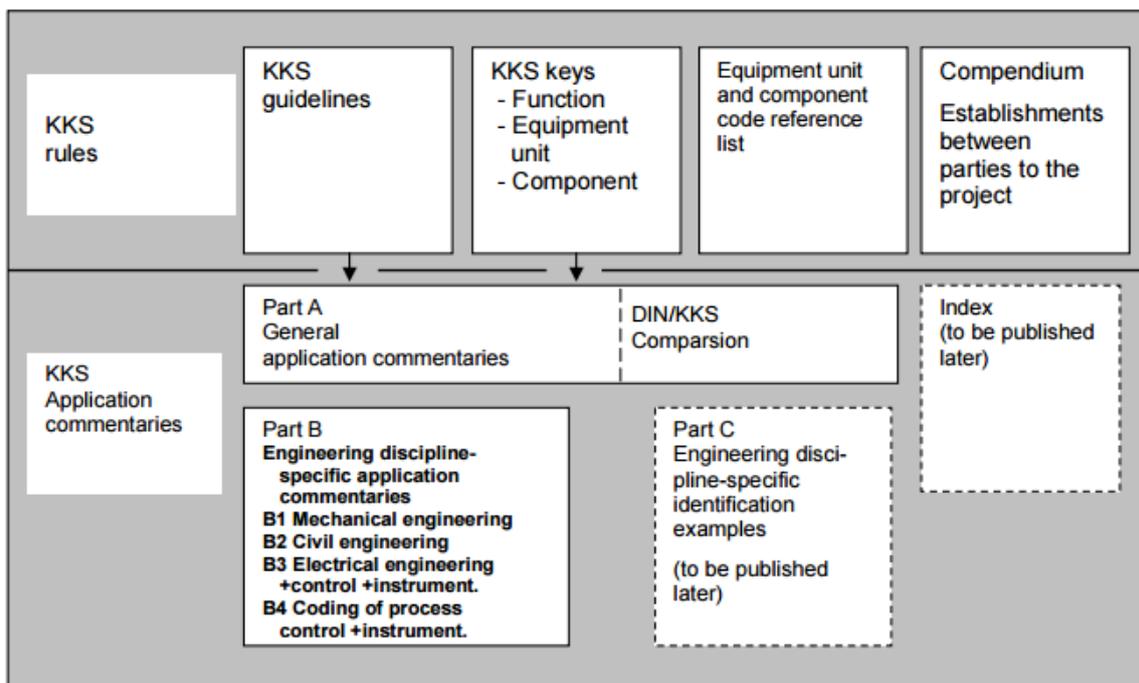


Figura 25 Alcance y lineamientos de KKS^{xxxii}

La operación y monitoreo del operador se simplifica por un alto grado de transparencia que aclara la interrelación entre la instrumentación y control, y el equipo de proceso. Ésta transparencia se asegura a partir de las reglas para identificación del sistema en general.

Aunque para cada planta se hace un acuerdo para codificar los números del sistema y la secuencia, hay algunas reglas universales^{xxiv}, una de ellas es que aunque el proceso de diseño cambie, el número en la codificación no puede cambiar, así como sus reglas. Es por ésta razón, que para el proyecto mencionado, primero era necesario conocer todas las reglas de codificación específicas a la planta y al SCOA previamente instalado, dado que se trataba de una planta de construcción nueva que debía integrarse al sistema. Se contaba con una lista de señales codificadas con sistema ISA por parte del cliente. Sin embargo, las plantas de Pemex que cuentan con el sistema de control Siemens cuentan

con la codificación KKS en sus componentes, misma con la que ya están familiarizados los operadores para una fácil identificación.

El trabajo de codificación, o mapeo de código ANSI a KKS, en sí mismo requería un trabajo de ingeniería detallado de estudio de diseño, de construcción general de la planta, de esquematización de áreas y estudio de los consecutivos para asignar nuevas áreas. Ésta tarea requirió el dominio especializado de la codificación KKS y un estudio extensivo de los diagramas unifilares y DTIs del cliente, para clasificar los procesos e instrumentos.

A continuación se muestra la estructura de codificación y un ejemplo para KKS:

Lugar en la estructura	0	1	2	3
Nombre con respecto al proceso	La planta total	Dispositivo, sistema, equipo de instalación, o código estructural	Equipo unidad, espacio de instalación, código del espacio	Código de parte
Número y formato de caracteres	Un número o letra	Un caracter numérico opcional, tres letras y dos números	Dos letras y tres números, más una letra opcional	Dos letras y dos números
Ejemplo	S	2LAB01	AA001	XQ01
Explicación del ejemplo	Sur	Unidad 2, Sistema de Agua de Alimentación	Válvula de control, posicionador	Entrada analógica de retroaviso de posición

Al terminar dicho estudio, procedí a nombrar los gabinetes de control, las señales requeridas por el cliente, los relevadores inteligentes, los componentes del HMI, los cables y los instrumentos que instalaría el cliente en cada una de las plantas nuevas, a partir de lo cual quedó delimitada y sistematizada la lista completa de entradas y salidas de equipo origen y de terceros.

6.2.3 Protocolo de Comunicación Modbus

En el proyecto se usaba la modalidad Modbus RTU, que del tipo serial (RS-232 o RS-485) derivado de la arquitectura Maestro/Esclavo. Es un protocolo ampliamente aceptado debido a su facilidad de uso y confiabilidad.

Se basa en una dinámica de pregunta/respuesta y ofrece servicios especificados por códigos de función. En el Anexo 2 se describen los códigos de función usados en las transacciones de Modbus.^{xxxiii}

Modbus se considera un protocolo de mensajes de capa de aplicación; en el modelo OSI, está posicionado en el nivel 7. La intención de modbus es que funcione como un protocolo de solicitud/respuesta y entregue servicios especificados por códigos de función. Los paquetes de RTU sólo envían datos; no tienen la capacidad de enviar parámetros como

nombre del punto resolución, unidades, etc, a diferencia de otros protocolos modernos como el IEC61850. Sin embargo, es más fácil de implementar que los protocolos nuevos y requiere menos memoria.

Para los equipos que se han de comunicar vía modbus RTU, el fabricante brindó un mapa de memoria y enlistó exactamente en qué dirección se obtendría cada una de las señales a integrar.

En éste proyecto, los equipos paquete modbus RTU se comunicaban por RS-485 y el mapa de memoria fue programado en los bloques de función del Sistema de Control SPPA-T3000, teniendo los equipos de comunicación del mismo la función de Esclavo, que recibía los mensajes provenientes de los tableros contra incendio, de corrosión y filtro de arena.

Existen dos formas de integrar el protocolo modbus al SPPA-T3000: a través de unas tarjetas llamadas CP341 que se integran a la unidad de adquisición remota, y a través de un servidor de comunicación que se integra al bus de automatización en la arquitectura T3000.

Para la primera opción, se realizan los ajustes en la programación de la tarjeta y se ejecutan las licencias correspondientes.

Para la segunda opción, además se realizan preparaciones en el servidor de aplicación y se integra la interconexión al concepto de red.

En el presente proyecto, consideré tarjetas de adquisición en la estación remota. Sin embargo, debido a un posterior cambio en especificación de número de paquetes a integrar y servicios, se mudó a la solución de servidor de comunicación.

Además, el servidor de comunicación tiene la capacidad de recibir el protocolo Modbus TCP/IP, DNP3 o IEC61850.

6.2.4 Funcionalidad SECA

Siemens es propietario de una tecnología especializada, que consiste en un algoritmo de control avanzado que automáticamente segrega cargas con base en mediciones de consumo, y mediciones en la generación que se lleva a cabo. Ésta segregación se realiza en línea y constituye un algoritmo de protección crítico para las plantas de Pemex.

El proyecto presentado incluyó la integración de los nuevos consumidores al algoritmo de segregación de cargas, para lo que se hizo un análisis de prioridades entre Siemens como especialista, ICA Fluor como integrador de las plantas nuevas y Pemex como cliente final del sistema.

Esto supuso un reto adicional, ya que el diseño debía ser capaz de adaptarse a la solución final que quedara instalada durante la puesta en servicio del proyecto y el diseño

se estaba realizando al mismo tiempo que la ejecución de la migración del SECA, que formaba parte de un proyecto ajeno al presentado.

Cabe mencionar que cada planta tiene un algoritmo adaptado a los requerimientos específicos de la misma y que supone un desarrollo tecnológico avanzado y complejo, uno de los cuales hace la diferencia entre lo que se denomina un Sistema de Control Operacional Avanzado y un Sistema de Control Distribuido. Es un nivel de protección de los procesos esenciales de la planta, que maximiza el beneficio de tener automatizada toda la planta de fuerza de una refinería.

6.2.5 Descripción general de las actividades realizadas durante la fase de Ingeniería

Como parte de mis actividades profesionales en el proyecto, realicé:

- Aclaraciones con el cliente sobre el alcance específico del proyecto
- Asignación de KKS
- Desarrollo de la Ingeniería de HMI;
 - Diseño de la integración del bus de automatización, bus de aplicación, bus de comunicación IEC61850 e integración de los equipos paquete Modbus RTU, así como la interconexión de fibra óptica en el sistema.
 - Dibujo de pantallas de operación con base en diagramas unifilares y DTIs del cliente
 - Especificación de las configuraciones de los equipos de comunicación y servidor de aplicación

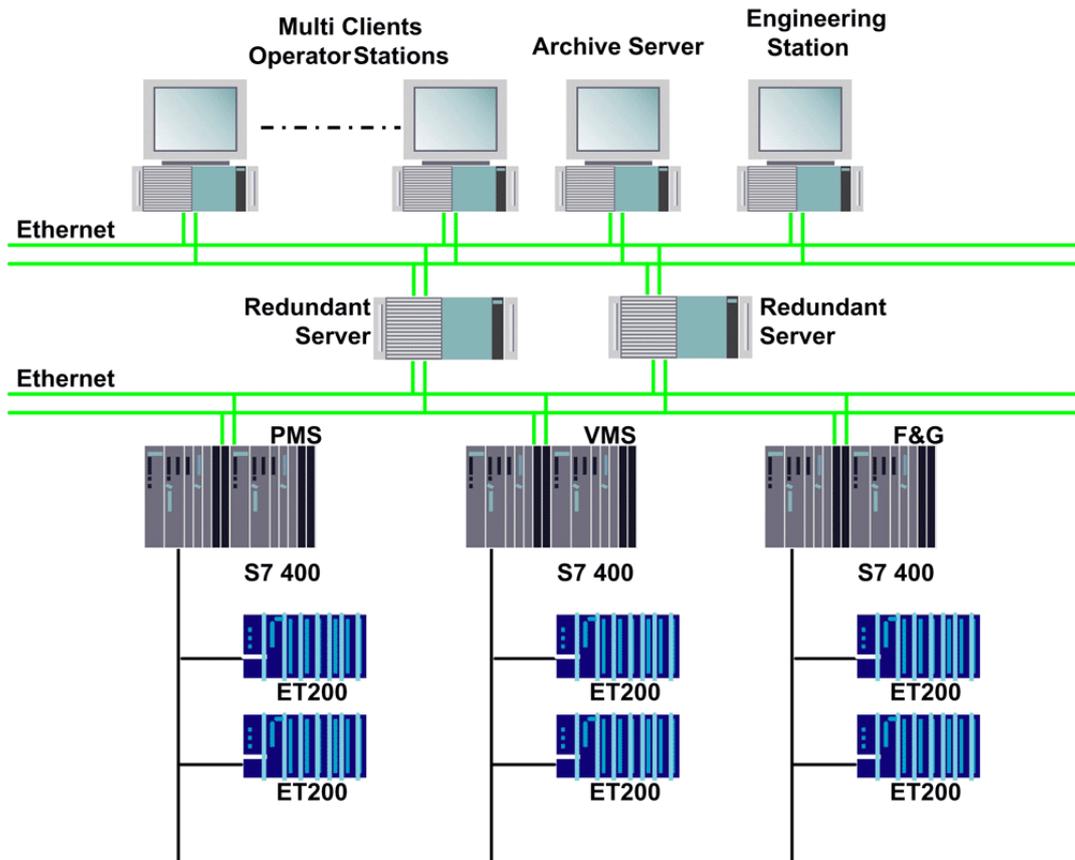


Figura 26 Topología típica SPPA-T3000^{xxxiv}

- Desarrollo de la ingeniería de comunicaciones;
 - Definición de arquitectura de comunicaciones de acuerdo con la arquitectura eléctrica especificada por el cliente
 - Planteamiento del mapeo de señales IEC61850
 - Carga de mapeo al sistema SPPA-T3000
 - Entrega del mapeo a proveedores de relevadores inteligentes
 - Configuración de equipos paquete en SPPA-T3000
- Desarrollo de Ingeniería de Hardware;
 - Diseño mecánico y eléctrico de los gabinetes de control que funcionarían como estaciones remotas de procesamiento de entradas y salidas
 - Diseño mecánico y eléctrico de los gabinetes de comunicación y de HMI
 - Estudios de consumo de potencia y disipación de calor, tanto en las estaciones remotas como en los gabinetes de comunicación y de HMI.
 - Definición de los tipos de conexión entre las tarjetas de adquisición y la conexión a campo desde los gabinetes de control
 - Definición de los requerimientos de cableado HMI, cableado de comunicación Profibus a estaciones remotas y cableado interno de gabinetes de control

- Supervisión de la planificación detallada del cableado interno de gabinetes de control
- Listas de materiales
- Planeación de la distribución de equipos en el cuarto de control y cuarto de gabinetes



Figura 27 Cuarto de Control^{xxxv}



Figura 28 Estación remota Simatic ET200^{xxxvi}

- Desarrollo de Ingeniería de Software;
 - Programación de los bloques funcionales para la señalización y comandos de interruptores

- Programación de alarmas y protecciones provenientes de los relevadores inteligentes
- Supervisión de la programación para el control de la Torre de Enfriamiento y Sistema de Dosificación de Químicos
- Mapeo de bloques funcionales a los desplegados de planta para operación

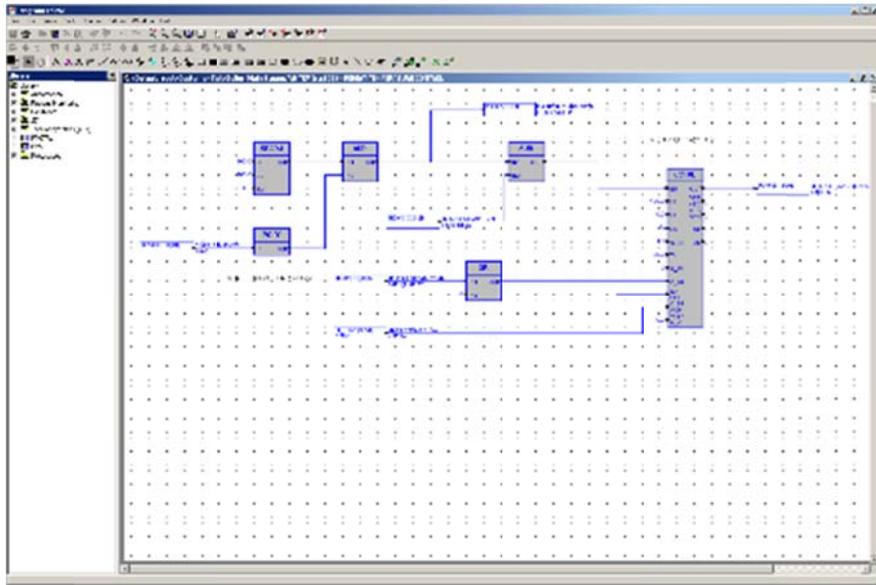


Figura 29 Bloques funcionales de SPPA-T3000^{xxxvii}

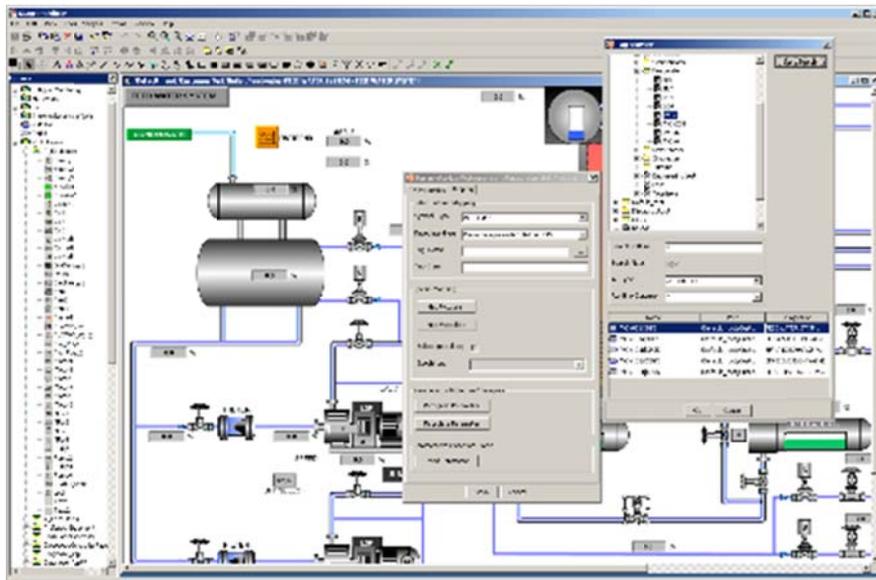


Figura 30 Vista de Ingeniería del Sistema SPPA-T3000^{xxx}

- Supervisión de construcción
- Conducción de las Pruebas de Aceptación de Fábrica
- Gestión de la Calidad en todas las fases anteriormente mencionadas

7. Resultados

Dado que mi participación en el proyecto mencionado finalizó con la realización de las Pruebas de Aceptación de Fábrica, describo a continuación los resultados de las mismas:

La ingeniería se realizó en el tiempo requerido por el cliente, entregando la ingeniería básica en un período de 4 semanas. Posteriormente, la ingeniería de detalle y la construcción se realizaron en tiempo y forma, obteniendo la aceptación por parte del cliente inmediato y el cliente final en los siguientes rubros:

- Inspección física de los equipos. Los diagramas mecánicos y eléctricos fueron comparados con la configuración física de los gabinetes 0CRA11A, 0CRA11B, 0CRA11A-1, 0CRF08 2CRY02 y 2CRY03, es decir, se realizó una inspección de números de parte de los componentes, cantidades y configuraciones, además de pruebas generales de redundancia consistentes en apagar una alimentación y comprobar la continuidad en la energía suministrada al gabinete, sin saltos que pudieran afectar la funcionalidad. Así mismo, se apagaron uno por uno los fusibles de protección asignados a cada dispositivo para comprobar que la conexión eléctrica fuera congruente con lo plasmado en diagramas eléctricos.
- Pruebas del gabinete de servidor. El servidor de aplicación dentro del gabinete 2CRY02 está alimentado con dos UPS redundantes, que aseguran la energización ininterrumpida del servidor, que es el corazón de la visualización para el operador. Como se puede ver en la arquitectura presentada en la Figura 14, el Servidor de Automatización es S7 400 es el corazón del sistema de automatización, separado de la visualización, por lo que en caso de falla en la visualización, el automatismo sigue funcionando. Éste servidor tiene también su propia fuente y batería. Sin embargo, el Servidor de Aplicación tiene mayor consumo energético y por lo tanto las conexiones están diseñadas para que la UPS rinda el mayor tiempo posible para mantener el servidor en pie. Esto también fue puesto a prueba en ésta fase. Otra de las pruebas aplicadas al Servidor, fue la redundancia en software, ya que el sistema, para el caso de éste proyecto, corre sobre una unidad virtual alojada en dos servidores físicos que son redundantes entre sí. Se comprobó dicha redundancia y la continuidad del sistema cuando un servidor físico falla.

- Pruebas de lazo. Se realizó la comprobación, señal por señal del correcto alambrado de cada señal enlistada en la Lista de Señales desarrollada a partir de la especificación del cliente. Esto se logró a través de la simulación directa en los bloques de terminales de salida del sistema y la prueba se extendió a la visualización correcta en pantalla, para cada una de las señales de Subestaciones integradas y para la Torre de Enfriamiento. Se organizó toda la información en función de la tarjeta de adquisición en que estaban alojadas las señales, para comprobar también, que éstas se asignaron y distribuyeron con un orden correspondiente a los diversos buses eléctricos, por nivel de voltaje y por redundancia física entre los buses.
- Pruebas de lógica. Se comprobó el funcionamiento correcto de los lazos de control en la Torre de Enfriamiento, incluyendo que se abrieran y cerraran las válvulas de control de dosificación de Sosa Cáustica y de Ácido Sulfúrico de acuerdo con las mediciones de los analizadores de PH integradas al sistema. También se probó el funcionamiento de las bombas de Agua de Enfriamiento y su accionamiento alternado de acuerdo con el requerimiento de agua.
- Pruebas de IEC61850. Se utilizó un relevador inteligente de la línea Siprotec de Siemens, que iba a formar parte del proyecto de modernización de tableros eléctricos cuyas señales se integrarían al SPPA-T3000. Éste fue programado con la lista azul proporcionada y se conectó por fibra óptica a los switches ruggedcom que hacen la función de poleo de las señales de protección y mediciones provenientes del relevador inteligente. De ésta manera, visualizamos en pantalla algunas señales simuladas concernientes a la comunicación por fibra óptica de dichos equipos. Ésta fue únicamente una demostración de la correcta programación de los equipos, ya que unas pruebas de laboratorio previamente realizadas con equipos de simulación más avanzados comprobaron que la comunicación por protocolo IEC61850 era transparente, desde equipos de terceros hasta el sistema SPPA-T3000.
- Pruebas de Modbus. Se conectó un puerto serial de una laptop a la tarjeta CP341 y con ayuda de un software de simulación, se realizaron algunas transmisiones de datos, con la laptop actuando como maestro y el sistema SPPA-T3000 como esclavo recibiendo los datos. De ésta forma se comprobó el correcto funcionamiento de la comunicación Modbus.
- Pruebas de diagnóstico. Se comprobó la capacidad de autodiagnóstico del sistema, induciendo fallas en los equipos principales de HMI, como el Servidor de Aplicación, el convertidor de Profibus a fibra óptica, los Scalances que conforman la autopista de aplicación y de automatización (en ello también se comprobó la continuidad en comunicación a la falla de alguno de los elementos), los Servidores de Comunicación y las tarjetas de adquisición. Las fallas se podían visualizar en el

sistema, en una pantalla de diagnóstico programada y en las alarmas de sistema que se pueden visualizar en modo operación.

Después de todas las pruebas previamente mencionadas, se obtuvo una aceptación firmada del cliente y el cliente final para los seis gabinetes y la programación, con lo cual se concluía un primer hito del proyecto. El siguiente paso fue el embalaje y preparación para envío a sitio, que también fue documentado para satisfacción del cliente. En esa fase también se entregaron los protocolos de Pruebas de Aceptación en Sitio, un segundo hito del proyecto.

El cliente directo expresó verbalmente en una junta, su satisfacción con la conducción del proyecto hasta esta fase, con lo cual la ejecución fue considerada exitosa en el Departamento.

8. Referencias

ⁱ SIEMENS AG (2015). The history of Siemens – from workshop to global player, <http://www.siemens.com/about/en/history.htm>

ⁱⁱ SIEMENS AG (2015). Historia de Siemens México, <http://www.siemens.com.mx/cms/mam/about/mam/Pages/siemensmam.aspx>

ⁱⁱⁱ SIEMENS AG (2015). Acerca de nosotros, <http://www.siemens.com.mx/cms/mam/about/Pages/aboutus.aspx>

^{iv} SIEMENS AG (2015). Your comprehensive solution provider for increased profitability, Sales brochure, *SPPA_SB-I_PGIE_BasicSlides_e_V2-7.pptx*

^v SIEMENS AG (2015). Siemens suministrará las turbinas de gas para el Proyecto de modernización de una planta de CFE en Tula; comunicado de prensa, <http://www.siemens.com.mx/cms/mam/press/pages/pressmam.aspx>

^{vi} SIEMENS AG (2015). SPPA-T3000 Control System, Raising performance in power plant operation, <http://www.energy.siemens.com/hq/en/automation/power-generation/sppa-t3000.htm>

^{vii} PEMEX Refinación (2004). La Refinería Ing. Antonio Dovalí Jaime en Salina Cruz, Oaxaca, <http://www.ref.pemex.com/octanaje/22salina.htm>

^{viii} PEMEX Refinación (2012). Libro Blanco Pemex Refinación-02, Calidad de combustibles fase gasolinas (obra) pag. 157, <http://www.ref.pemex.com/files/content/03transparencia/RC/REF02.pdf>

^{ix} Facultad de Química UNAM (2009). Estudio de impacto ambiental de la planta desulfuradora de gasolinas catalítica ULSG 2, sus servicios auxiliares e integración de la refinería “Gral. Lázaro Cárdenas”, Minatitlán, Ver., pag. 10, <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/ver/estudios/2009/30VE2009X0033.pdf>

^x Publimar (2009). En salina Cruz construirán plantas en refinería, <http://publimar.mx/en-salina-cruz-construiran-plantas-en-refineria/>

^{xi} Redacción Obras (2010). ICA Fluor gana dos plantas para Pemex. CNN Expansión <http://www.cnnexpansion.com/obras/2010/02/26/ica-fluor-gana-dos-plantas-para-pemex>

^{xii} Cotinavec (2015). Proyectos emblemáticos Oil&Gas, <http://cotinavecmexico.mx/proyectos-oil-and-gas>

^{xiii} Heber López (2015). De Salina Cruz para México. Noticiasnet.mx <http://www.noticiasnet.mx/portal/istmo/general/tradiciones/268562-salina-cruz-para-mexico>

^{xiv} Ramírez Alanís (2005). Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León, <http://gama.fime.uanl.mx/~omeza/pro/PROTECCION.pdf>

-
- ^{xv} Direct Industry (2015). Relé electromecánico / de protección / para montaje en panel / de uso general. Catálogo de productos, <http://www.directindustry.es/prod/siemens-smart-grid/product-30064-216830.html>
- ^{xvi} Editorial mundo HVACR (2012). Torres de enfriamiento, <http://www.mundohvacr.com.mx/mundo/2009/03/torres-de-enfriamiento/>
- ^{xvii} Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios (2014). Tratamientos integrals de agua a Torres de Enfriamiento NRF-2006-PEMEX-2014, <http://www.pemex.com/procura/procedimientos-de-contratacion/normas-referencia/Documents/NRF-206-PEMEX-2014.pdf>
- ^{xviii} Bogdan Popescu (2015). SCADA Communications for Protection Engineers; 2015
- ^{xix} SIEMENS AG (2015). SPPA-T3000 Embedded Component Services, <http://www.energy.siemens.com/hq/en/automation/power-generation/sppa-t3000/embedded-component-services.htm>
- ^{xx} SIEMENS AG (2012). SPPA-T3000 Control System, The Benchmark in Controls, Sales brochure, *T3_B_ContrSys_e_V2-0*
- ^{xxi} SIEMENS AG (2013). World-class Project Execution-PM@E F IE, *SPPA_SB-L_ProjectExecution_e_V1-0*
- ^{xxii} Technology advice (2015). About Siemens Teamcenter, <http://technologyadvice.com/products/siemens-teamcenter-reviews/>
- ^{xxiii} Dr. Klepsch & Partner Managementberatung (2015). Project Clarification, <http://www.klepsch-partner.de/en/profile-of-services/organisational-development/project-clarification.html>
- ^{xxiv} Wikibooks (2013). Development Cooperation Handbook/Designing and Executing Projects/Detailed Planning or design stage, https://en.wikibooks.org/wiki/Development_Cooperation_Handbook/Designing_and_Executing_Projects/Detailed_Planning_or_design_stage
- ^{xxv} Fuentes Estrada (2012). La implementación de la norma IEC 61850 en CFE: trazando la ruta de la innovación en la automatización de subestaciones. http://www.ai.org.mx/ai/archivos/ingresos/fuentes/trabajo_final_definitivo_27_de_febrero_2012_fuentes_estrada.pdf
- ^{xxvi} SIEMENS AG (2010). Process engineering and auxiliary power supply converge! Sales brochure, *T3_SB_IEC61850_e_V1-6*
- ^{xxvii} DNV KEMA Academy (2012). Curso de formación en IEC 61850, <http://www.dnvkema.com/Images/leaflet%20IEC%2061850%20Espanol.pdf>
- ^{xxviii} SIEMENS AG (2010). Introduction Standard, *E3_ST2_IEC_Introduction_e_V1-1*
- ^{xxix} Zhang, Gunther (2005). IEC 61850 – Communication Networks and Systems in Substations: An Overview of Computer Science, <http://seclab.illinois.edu/wp-content/uploads/2011/03/iec61850-intro.pdf>
- ^{xxx} SIEMENS AG (2009). Integration of auxiliary power supply in SPPA-T3000 based on IEC 61850 http://w5.siemens.com/italy/web/pw/PowerMatrix/Produzionedienergiadafonticonvenzionali/CentraliaCicloCombinato/Automazionedicentrale/PowerPlantAutomation/Documents/T3_DT_IEC_TechDesc_e_V1_0.pdf
- ^{xxxi} Wei, Zhang, Zhao, Wang (2010). Engineering Application of Labeling System in Power Plant, IEEE
- ^{xxxii} VGB org (2015). KKS – Scope and Guidelines, http://www.vgb.org/vgbmultimedia/KKS+_+Scope+and+Guidelines-p-956.pdf
- ^{xxxiii} Modbus Organization (2015). Modbus Specifications and Implementation Guides, <http://www.modbus.org/specs.php>
- ^{xxxiv} SIEMENS AG (2015). Automation and Control, http://w3.siemens.dk/home/dk/dk/energy/oil_gas/automation/pages/automation_control.aspx
- ^{xxxv} SIEMENS AG (2015). Night Shift at Lodi, <http://www.energy.siemens.com/hq/en/energy-topics/energy-stories/flex-plant-lodi.htm>
- ^{xxxvi} SIEMENS AG (2009). Siemens Energy presents new control system for industrial steam turbines, [http://www.siemens.com/press/en/pressrelease/?press=/en/pressrelease/2009/energy_service/ese200912027.htm&content\[\]=ES&content\[\]=PS](http://www.siemens.com/press/en/pressrelease/?press=/en/pressrelease/2009/energy_service/ese200912027.htm&content[]=ES&content[]=PS)
- ^{xxxvii} Bill Lydon (2005). New DCS for the Power Industry, the Siemens SPPA-T3000, Automation.com, <http://www.automation.com/library/articles-white-papers/articles-by-bill-lydon/new-dcs-for-the-power-industry-the-siemens-sppa-t3000>